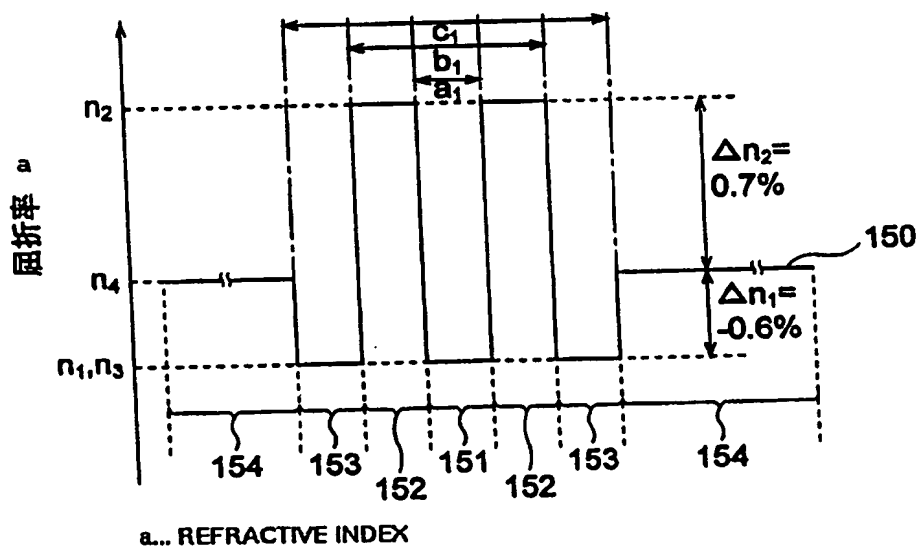


(51) 国際特許分類6 G02B 6/16, 6/22	A1	(11) 国際公開番号 WO99/30193 (43) 国際公開日 1999年6月17日(17.06.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03383 (22) 国際出願日 1998年7月29日(29.07.98) (30) 優先権データ 特願平9/335646 1997年12月5日(05.12.97) JP 特願平9/353153 1997年12月22日(22.12.97) JP 特願平10/40276 1998年2月23日(23.02.98) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)[JP/JP] 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka, (JP) (72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 加藤考利(KATO, Takatoshi)[JP/JP] 畑山 均(HATAYAMA, Hitoshi)[JP/JP] 笹岡英資(SASAKA, Eisuke)[JP/JP] 西村正幸(NISHIMURA, Masayuki)[JP/JP] 〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa, (JP)	(74) 代理人 弁理士 長谷川芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.) 〒104-0031 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル6F 創英国際特許法律事務所 Tokyo, (JP) (81) 指定国 AU, CA, CN, ID, JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). 添付公開書類 国際調査報告書	

(54)Title: DISPERSION FLAT OPTICAL FIBER

(54)発明の名称 分散フラット光ファイバ



(57) Abstract

A dispersion flat optical fiber having a structure for effectively suppressing the development of a non-linear optical phenomenon and suitable for a wavelength multiplexing soliton transmission using an optical amplifier. It has various characteristics at a wavelength of 1,550 nm, including a dispersion having an absolute value of not greater than 5 ps/nm/km, an effective sectional area of at least 45 μm^2 , a dispersion slope of not greater than 0.03 and a cut-off wavelength of at least 1.0 μm at a length of 2 m.

この発明は、光増幅器を利用した波長多重ソリトン伝送等に好適な、非線形光学現象の発現を効果的に抑制する構造を備えた分散フラット光ファイバを提供することを目的とする。この発明に係る分散フラット光ファイバは、波長1550 nmにおける諸特性として、絶対値が5 ps/nm/km以下である分散と、45 μm^2 以上の実効断面積と、0.03以下の分散スロープと、長さ2 mにおいて1.0 μm 以上のカットオフ波長とを有する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	CW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ		田ユーゴスラヴィア	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MN	モンゴル	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボワール	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェコ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KR	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		

明細書

分散フラット光ファイバ

技術分野

この発明は、光ファイバ網を用いた通信システムに好適な分散フラット光ファイバに関するものである。

背景技術

光ファイバ網で構成された通信システムは、長距離かつ大容量の通信が可能であり、さらに時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送により大容量化が図られている（例えば、N.Edagawa, et al., "Long Distance Soliton WDM transmission using a dispersion-flattened fiber", OFC' 97, PD19を参照）。また、このような光通信システムは、信号光を送受信する高性能な送受信器、信号光を光増幅する光増幅器及び信号光を伝送する光ファイバ等から構成される。これらのうち高いS/N比を得るために不可欠である光増幅器において、光増幅可能な波長帯域は1530 nm～1560 nmであるので、利用可能な信号光の波長は実質的にこの波長帯域幅30 nm内に限られている。

発明の開示

光増幅器を用いた光通信システムでは、光ファイバ中における信号光の強度が強くなることから、4光波混合、自己位相変調等の非線形光学現象がその光ファイバ中で発生してしまう。このうち四光波混合については、信号光の波長における分散の絶対値を1 ps/nm/km～5 ps/nm/km程度にすれば、その発生を抑制することが可能である。一方、自己位相変調と波長分散（以下、単に分散という）との相互作用については、単一波長の信号光のソリトン伝送の場合

には問題はないが、波長多重化された複数の信号光の伝送には以下のような問題がある。すなわち、波長1550nm付近に零分散波長がシフトされた分散シフトファイバは、通常 $0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度の波長分散スロープ（以下、単に分散スロープという）を有することから、伝送される各信号光の波長によって分散値が異なる。このため、自己位相変調とのバランスが崩れ、信号光パルスの崩壊を招くことになる。したがって、このような場合には分散スロープが極めて小さい分散フラット光ファイバが必要とされている。

また、光ファイバの非線形屈折率を N_2 とし、実効断面積を A_{eff} とし、信号光のパワーを P とし、光ファイバの実効長を L_{eff} とすると、光ファイバの非線形光学現象の発生量は、以下の(1)式で与えられる。

$$N_2 \cdot P \cdot L_{\text{eff}} / A_{\text{eff}} \quad \dots (1)$$

非線形光学現象の発生量を増加させることなく信号光パワー P を大きくして高い S/N 比を得るためには、実効断面積 A_{eff} が大きいことが必要である。また、単一波長の時分割多重伝送の場合、非線形光学現象の発生を抑制するためには、実効断面積 A_{eff} を大きくするだけでなく、分散の絶対値を 1 ps/nm/km 以下とし、さらに、分散スロープを極めて小さくする必要がある。さらに、光ファイバのケーブル化の際の損失増加を抑制するためには曲げ損失が小さいことが要求され、そのためには、カットオフ波長は適切な値に設定されなければならない。

なお、上述された非線形屈折率 N_2 は以下のように定義されている。すなわち、強い光の下における媒質の屈折率 N は、光パワーによって変わる。したがって、この屈折率 N に対する最低次の効果は、以下の(2)式で表される。

$$N = N_0 + N_2 \cdot E^2 \quad \dots (2)$$

ここで、 N_0 ：線形分極に対する屈折率

N_2 ：3次の非線形分極に対する非線形屈折率

E ：光電場振幅

強い光の下では、媒質の屈折率 N は通常の値 N_0 と光電場振幅 E の2乗に比例する増加分との和で与えられる。特に、第2項の比例定数 N_2 （単位： m^2/V^2 ）が非線形屈折率と呼ばれる。

また、上記実効断面積 A_{eff} は、特開平8-248251号公報に示されたように、以下の(3)式で与えられる。

$$A_{\text{eff}} = 2\pi \left(\int_0^\infty E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^\infty E^4 r dr \right) \quad \dots (3)$$

ただし、 E は伝搬光に伴う電界、 r はコア中心からの径方向の距離である。

また、分散スロープは所定の波長帯域における分散特性を示すグラフの傾きで定義される。

発明者らは、従来の分散フラット光ファイバを検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、従来の分散フラット光ファイバは、分散スロープが小さいものの、実効断面積が $30 \mu\text{m}^2 \sim 40 \mu\text{m}^2$ 程度しかないので、コア領域における光パワー密度が高く、4光波混合等の非線形光学現象が強く発生し易い。そのため、従来の分散フラット光ファイバは光増幅器を用いた波長多重光通信システムには適していなかった。

例えば、M. Ohashi, et al., "Dispersion-modified Single-Mode Fiber by VAD Method with Low Dispersion in the $1.5 \mu\text{m}$ Wavelength Region", ECOC'88, pp.455-448に記載された分散フラット光ファイバは、中心コア（第1コア）、該中心コアを取り囲む第2コア、該第2コアを取り囲む第3コアからなるコア領域と、該コア領域を取り囲むクラッドを備えるとともに、中心コア（第1コア）にGe元素を添加することによりクラッドに対する該中心コアの比屈折率差を0.87%まで高くし、第2コアにF元素を添加することによりクラッド領域に対する該第2コア領域の比屈折率差を-0.41%まで低くし、さらに、第3コアにGe元素を添加することによりクラッドに対する該第3コアの比屈折率差を0.

23%まで高くしたトリブルクラッド型の屈折率プロファイルを有する。

なお、この従来の分散フラット光ファイバでは、波長1550nmにおける分散スロープは $0.023 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ を得ているものの、その実効断面積 A_{eff} は $37 \mu\text{m}^2$ 程度しかない。

また、Y.Kubo, et al., "Dispersion Flattened Single-Mode Fiber for 10,000km Transmission System", ECOC'90, pp.505-508に記載された分散フラット光ファイバは、中心コア、該中心コアを取り囲む第2コアからなるコア領域と、該コア領域を取り囲むクラッドを備えるとともに、該中心コアにGe元素を添加することによりクラッドに対する該中心コア領域の比屈折率差を0.9%まで高くし、第2コア領域にF元素を添加することによりクラッドに対する該第2コアの比屈折率差を-0.4%まで低くしたW型屈折率プロファイルを有する。

なお、この従来の分散フラット光ファイバでも、波長1550nmにおける分散スロープは $0.023 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ を得ているものの、その実効断面積 A_{eff} は $30 \mu\text{m}^2$ 以下である。

一方、通常の分散シフトファイバは、その実効断面積 A_{eff} が $50 \mu\text{m}^2$ 程度であり比較的大きいが、分散スロープは $0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度であることから分散の影響が大きく、やはり長距離光伝送には適していない（例えば、Y. Terasawa, et al., "Design Optimization of Dispersion Shifted Fiber with Enlarged Mode Field Diameter for WDM Transmission", IOOC'95, FA2-2を参照）。

したがって、従来の光ファイバの何れも、光増幅器を利用した時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送への応用には適していない。

この発明は上述の課題を解決するためになされたものであり、光増幅器を含む光通信システムにおける時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送に好適な構造を備えた分散フラット光ファイバを提供することを目的としている。

上述の目的を達成すべく、この発明に係る分散フラット光ファイバは、1. 5

5 μm 波長帯 (1500 nm ~ 1600 nm) の中心波長 1550 nm にける諸特性として、絶対値が 5 ps/nm/km 以下である分散と、 $50 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積と、 $0.02 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープと、長さ 2 m において 1.0 μm 以上のカットオフ波長とを有する。

このような分散フラット光ファイバは、波長 1550 nm における分散の絶対値が 5 ps/nm/km 以下であり、また、分散スロープが $0.02 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるので、各信号光間の分散値の差異が小さい。また、実効断面積が $50 \mu\text{m}^2$ 以上であるので、当該分散フラット光ファイバでは伝搬中の信号光のパワー密度が低く抑えられる。これにより、非線形光学現象の発生は効果的に抑制され、高い S/N 比で伝送が可能となる。さらに、この分散フラット光ファイバは優れた曲げ特性を有する。

なお、非線形光学現象の発生を効果的に抑制するためには、実効断面積は上述のように $50 \mu\text{m}^2$ 以上、より好ましくは $70 \mu\text{m}^2$ 以上である必要があるが、この実効断面積の増加は曲げ損失の増加を招いてしまう。このような曲げ損失の増加は、当該分散フラット光ファイバのケーブル化にとっては好ましくない。一方、非線形光学現象の抑制は、当該分散フラット光ファイバ中に意図的に分散を発生させることによって実現できる。

そこで、この発明に係る分散フラット光ファイバは、上記実効断面積と分散スロープとの好ましい関係として、該実効断面積を $45 \mu\text{m}^2$ 以上とし、分散スロープを $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ とすることで実現することも可能である。

上述のような諸特性を有する分散フラット光ファイバは、上記コア領域を、所定の屈折率を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられるとともに該第 1 コアよりも高い屈折率を有する第 2 コアとで構成することにより実現できる (リングコア構造)。また、上記コア領域は、所定の屈折率を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられるとともに該第 1 コアよりも低い屈折率を有する第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられるとともにかつ該第 2 コアよりも高い屈折

率を有する第3コアとで構成してもよい（3層コア構造）。上記クラッド領域は、上記コア領域の外周に設けられた第1クラッド（内側クラッド）と、該第1クラッドの外周に設けられ、該第1クラッドよりも高い屈折率を有する第2クラッド（外側クラッド）とを備えたディプレストクラッド構造を備えてもよい。当該分散フラット光ファイバは、上述のリングコア構造、3層コア構造の何れかと、このディプレストクラッド構造を組合わせても実現することが可能である。

さらに、上記リングコア構造やセグメント構造を備え、上述の諸特性を有する分散フラット光ファイバは、実際に伝送路として適用する場合を考慮し、波長1550nmにおける諸特性として、 $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下の偏波分散をさらに有することが好ましい。また、ケーブル化を考慮すれば、当該分散フラット光ファイバは、直径32mmに曲げられたときの伝送損失が0.5dB/ターン以下であることが好ましく、特に、上述の3層コア構造を有する場合には、長さ2mにおけるカットオフ波長が $1.4 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。

また、発明者らは、上述の3層コア構造の分散フラット光ファイバにおいて分散スロープを低減するとともに、カットオフ波長を長くして曲げ損失を低減するには、上記第3コアが大きく寄与していることを発見した。すなわち、3層コア構造を有する分散フラット光ファイバでは、第2コアの外径をb、第3コアの外径をc、クラッド領域の基準領域に対する該第3コアの比屈折率差を Δn_3 とすると、以下の関係を満たすのが好ましい。

$$\Delta n_3 \geq 0.25\%$$

$$0.40 \leq b/c \leq 0.75$$

換言すれば、第3コアのプロファイルボリュームは、コア領域における中心から径方向の距離をr、該中心から距離rの部位での、クラッド領域の基準領域に対する比屈折率差を $\Delta n(r)$ とすると、以下の条件を満たすのが好ましい。

$$\int_{b/2}^{c/2} \Delta n(r) r dr \geq 7.0 (\% \cdot \mu m^2)$$

なお、クラッド領域は上述のディプレストクラッド構造であってもよく、この場合、各ガラス領域の比屈折率差を定義するための基準領域は第2クラッドである。

3層コア構造とディプレストクラッド構造の組合わせにより構成される分散フラット光ファイバでは、第1コアの外径をa、第2コアの外径をb、第3コアの外径をc、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差を Δn_1 、第2クラッドに対する第1クラッドの比屈折率差を Δn_2 とすると、以下の関係を満たすのが好ましい。

$$0.40\% \leq \Delta n_1 \leq 0.90\%$$

$$\Delta n_2 \leq -0.02\%$$

$$0.20 \leq a/c \leq 0.35$$

$$20 \mu m \leq c \leq 30 \mu m$$

加えて、製造バラツキを考慮すると、この発明に係る分散フラット光ファイバは、係る製造バラツキを許容できるよう設計されなければならない。具体的には、製造された各ロット間にはコア領域の外径に±2%程度の製造バラツキが生じてしまう（±2%程度までしか外径制御できない）。そこで、この発明に係る分散フラット光ファイバは、コア領域の外径変動に起因した特性変動、特に分散スロープの変動を可能な限り抑制する必要がある。

発明者らの実験によると、この分散スロープの値は、コア領域の外径の増加に伴って減少し、さらにコア領域の外径の増加に伴って増加する傾向があることが分かった（コア領域の外径が所定値のときに分散スロープは極小値を取る）。したがって、この発明に係る分散フラット光ファイバでは、製造バラツキに起因した特性変動を抑えるため、当該分散フラット光ファイバの分散スロープが極小値

をとるコア領域の外径を中心とした $\pm 2\%$ の範囲内に該コア領域の外径が設定されている。具体的には、コア領域の外径変動の範囲が設計値に対して $\pm 2\%$ ある場合、分散スロープの変動量は $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に抑えられている。

図面の簡単な説明

図1 Aは、この発明に係るリングコア構造の分散フラット光ファイバの断面構造を示す図であり、図1 Bは、図1 A中の線L 1に沿って示された屈折率プロファイルである。

図2は、図1 Bに示された屈折率プロファイルを有する実施例1（リングコア構造）に係る分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

図3は、この発明の実施例2（リングコア構造+ディプレストクラッド構造）に係る分散フラット光ファイバの屈折率プロファイルである。

図4は、図3に示された屈折率プロファイルを有する実施例2の分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

図5 Aは、この発明に係る3層コア構造の分散フラット光ファイバの断面構造を示す図であり、図5 Bは、図5 A中の線L 2に沿って示された屈折率プロファイルである。

図6は、図5 Bに示された屈折率プロファイルを有する実施例3（3層コア構造+ディプレストクラッド構造）に係る分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

図7は、この発明の実施例4（3層コア構造）に係る分散フラット光ファイバの屈折率プロファイルである。

図8は、図7に示された屈折率プロファイルを有する実施例4の分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

図9は、実施例1～4に係る分散フラット光ファイバおのものの諸特性をまと

めた表である。

図10は、図5Bの屈折率プロファイルを有するサンプル1～5を用意し、これらサンプル1～5の第3コアの外径に対する第2コアの外径の比 (b_2/c_2) 及び第2クラッド (外側クラッド) に対する第3コアの比屈折率差 (Δn_3) の測定結果をまとめた表である。

図11A及び図11Bは、図5Bの屈折率プロファイルを有するサンプル1～5について、コア領域の外径 (第3コアの外径 c_2) に対する分散スロープ ($ps/nm^2/km$) の変化を示すグラフである。

図12A及び図12Bは、図5Bの屈折率プロファイルを有するサンプル1～5について、コア領域の外径 (第3コアの外径 c_2) に対するカットオフ波長 (μm) の変化を示すグラフである。

図13A～図13Cは、図5Bの屈折率プロファイルの変形例 (屈折率プロファイル) である。

図14は、図13A～図13Cに示された屈折率プロファイルを有する各サンプル6～8についてその諸特性を測定した結果をまとめた表である。

図15A～図15Dは、図13Bに示された屈折率プロファイルを有するサンプル7を用意し、このサンプル7について、コア領域の外径 (第3コアの外径 c_2) の変化に対する諸特性の変化を示すグラフであり、図15Aはコア領域の外径 (μm) と実効断面積 (μm^2) の関係、図15Bはコア領域の外径 (μm) と直径20mmで曲げられたときの曲げロス (dB/m) の関係、図15Cはコア領域の外径 (μm) と分散スロープとの関係 ($ps/nm^2/km$) の関係、図15Dはコア領域の外径 (μm) と分散 ($ps/nm/km$) の関係を示している。

図16A及び図16Bは、サンプル8について、コア領域の外径変動と諸特性の変動との関係を示すグラフであり、図16Aは、コア領域の外径と、分散 ($ps/nm/km$) 及び分散スロープ ($ps/nm^2/km$) の関係、図16Bは、

コア領域の外径の変動率(%)に対する分散スロープの変動量($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}/\%$)の関係を示している。

図17Aは、曲げ径(mm)と曲げロス(dB/m)の関係を示すグラフであり、図17Bは、ファイバ長(km)とカットオフ波長(μm)との関係を示すグラフである。

図18Aは、サンプル1～5について、第3コアのプロファイルボリューム($\% \cdot \mu\text{m}^2$)と分散スロープ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)との関係を示すグラフであり、図18Bは、サンプル1～5について、第3コアのプロファイルボリューム($\% \cdot \mu\text{m}^2$)とカットオフ波長(μm)との関係を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明に係る分散フラット光ファイバの実施例を、図1A、図1B、図2～図4、図5A、図5B、図6～図10、図11A～13C、図14、図15A～図18Bを用いて説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

この発明に係る分散フラット光ファイバは、長距離海底ケーブル等に適用可能であり、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の1又は2以上の信号光($1500\text{nm} \sim 1600\text{nm}$ の範囲内に中心波長を有する1又は2以上の信号光)を伝搬するための石英系シングルモード光ファイバである。また、当該分散フラット光ファイバは、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、伝搬する信号光間での分散のバラツキを低減させるべく、信号波長帯である $1.55\mu\text{m}$ 波長帯においてその分散スロープが小さくなるよう設計されている。

具体的にこの発明に係る分散フラット光ファイバは、波長 1550nm における諸特性として、絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の分散と、 $45\mu\text{m}^2$ 以上、好ましくは $50\mu\text{m}^2$ 以上、より好ましくは $70\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} と、

0.03 ps/nm²/km以下好ましくは0.02 ps/nm²/km以下の分散スロープと、2 m長において1.0 μm以上のカットオフ波長を有する。

さらに、この発明に係る分散フラット光ファイバは、波長1550 nmにおける諸特性として、0.15 ps/km^{1/2}以下の偏波分散を有することが好ましく、また、直径32 mmに曲げられたときの伝送損失は0.5 dB/ターン以下であることが好ましい。なお、上記伝送損失は、直径32 mmの心棒 (mandrel) に複数回、被測定対象の光ファイバを巻きつけた状態で測定された伝送損失を1ターン当たりに換算した値であり、以下曲げ損失という。

上述の諸特性を実現する構成としては、所定軸に沿って伸びるコア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられるとともに該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとを備えたリングコア構造であってもよく、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられるとともに該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられるとともにかつ該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとを備えた3層コア構造であってもよい。なお、3層コア構造の場合、長さ2 mでのカットオフ波長は1.4 μm以上必要である。また、上記コア領域の外周に設けられたクラッド領域は、該コア領域の外周に設けられた第1クラッド (内側クラッド) と、該第1クラッドの外周に設けられるとともに該第1クラッドよりも高い屈折率を有する第2クラッド (外側クラッド) とを備えたディプレストクラッド構造であってもよい。

特に、3層コア構造を有する分散フラット光ファイバでは、第2コアの外径をb、第3コアの外径をc、クラッド領域の基準領域 (ディプレストクラッド構造の場合は第2クラッド) に対する該第3コアの比屈折率差を Δn_3 とすると、以下の関係を満たすことが好ましい。

$$\Delta n_3 \geq 0.25\%$$

$$0.40 \leq b/c \leq 0.75$$

そして、第3コアのプロファイルボリュームは、コア領域における中心から径方向の距離を r 、該中心から距離 r の部位での、クラッド領域の基準領域に対する比屈折率差を $\Delta n(r)$ とすると、以下の条件を満たすのが好ましい。

$$\int_{b/2}^{c/2} \Delta n(r) r dr \geq 7.0 (\% \cdot \mu m^2)$$

さらに、3層コア構造とディプレストクラッド構造の組合わせにより構成される分散シフトファイバでは、第1コアの外径を a 、第2コアの外径を b 、第3コアの外径を c 、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差を Δn_1 、第2クラッドに対する第1クラッドの比屈折率差を Δn_4 とすると、以下の関係を満たすことが好ましい。

$$0.40\% \leq \Delta n_1 \leq 0.90\%$$

$$\Delta n_4 \leq -0.02\%$$

$$0.20 \leq a/c \leq 0.35$$

$$20 \mu m \leq c \leq 30 \mu m$$

なお、クラッド領域の基準領域に対する各領域の比屈折率差は以下の(4)式で与えられる。

$$(n_T - n_R) / n_R \quad \dots (4)$$

ここで、 n_T は対象となるガラス領域の屈折率、 n_R は基準となるクラッド領域の屈折率（なお、クラッド領域がディプレストクラッド構造の場合は第2クラッドの屈折率）である。また、この明細書では、各ガラス領域の比屈折率差は百分率で表し、(4)式中の各パラメータは順不動である。したがって、マイナスの値として表示される比屈折率差は、基準領域よりも低い屈折率を有する領域を意味している。

また、コア領域の外径は、分散スロープが極小値となる時の値を中心にして $\pm 2\%$ の変動範囲内に設定されていることが好ましい。具体的に発明者らは、製

造バラツキを許容するため、コア領域の外径の±2%の変動に対する分散スロープの変動量が $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下するよう設計するのが好ましいことを発見した。

以下、この発明に係る分散フラット光ファイバの各実施例を順に説明する。なお、以下で説明される実施例1及び実施例2に係る分散フラット光ファイバは、それぞれリングコア構造のコア領域とディプレストクラッド構造のクラッド領域を有する。また、実施例3に係る分散フラット光ファイバは、3層コア構造のコア領域とディプレストクラッド構造のクラッド領域を有する。さらに、実施例4に係る分散フラット光ファイバは、3層コア構造のコア領域と単一層のクラッド領域を有する。

実施例1

まず、図1Aは、実施例1に係る分散フラット光ファイバの断面構造を示す図であり、図1Bは、図1A中の線L1に沿って示された屈折率プロファイルである。なお、線L1は当該分散フラット光ファイバ100の中心軸を示す点O₁で交差する線である。この実施例1に係る分散フラット光ファイバ100は、リングコア構造のコア領域200と、ディプレストクラッド構造のクラッド領域300とを備えている。上記コア領域200は、屈折率 n_1 を有する外径a1の第1コア201と、該第1コア201の外周に設けられるとともに屈折率 n_2 ($> n_1$)を有する外径b1の第2コア202を備えている。また、上記クラッド領域300は、第2コア202の外周に設けられるとともに屈折率 n_3 ($= n_1$)を有する外径c1の第1クラッド301と、該第1クラッド301の外周に設けられるとともに屈折率 n_4 ($> n_3$)を有する第2クラッド302を備えている。

ここで、図1Bの屈折率プロファイル150は、図1A中の線L1に沿った各領域の屈折率を示しており、領域151は第1コア201の線L1上の各部位、領域152は第2コア202の線L1上の各部位、領域153は第1クラッド301の線L1上の各部位、領域154は第2クラッド302の線L1上の各部位

に相当している。

この実施例 1 において、第 2 クラッド 302 (クラッド領域 300 の基準領域) に対する第 1 コア 201 の比屈折率差 Δn_1 及び第 1 クラッド 301 の比屈折率差 Δn_3 は、ともに -0.6% であり、第 2 クラッド 302 に対する第 2 コアの比屈折率差 Δn_2 は 0.7% である。また、第 1 コア 201 の外径 a_1 は $3.04\mu\text{m}$ 、第 2 コア 202 の外径 b_1 は $7.26\mu\text{m}$ 、第 1 クラッド 301 の外径 c_1 は $13.2\mu\text{m}$ 、当該分散フラット光ファイバ 100 の外径 (第 2 クラッド 302 の外径) $125\mu\text{m}$ である。なお、各領域の比屈折率差は以下のように与えられる。

$$\Delta n_1 = (n_1 - n_4) / n_4$$

$$\Delta n_2 = (n_2 - n_4) / n_4$$

$$\Delta n_3 = (n_3 - n_4) / n_4$$

発明者らは、以上のように構成された実施例 1 に係る分散フラット光ファイバ 100 の波長 1550nm における諸特性を測定した。その結果、波長 1550nm における分散値は 0.17ps/nm/km ($< 0.5\text{ps/nm/km}$)、波長 1550nm における実効断面積 A_{eff} は $58\mu\text{m}^2$ ($> 45\mu\text{m}^2$)、長さ 2m でのカットオフ波長は $1.153\mu\text{m}$ ($> 1.0\mu\text{m}$) であった。また、分散スロープは、波長 1530nm で $0.018\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 1550nm で $0.007\text{ps/nm}^2/\text{km}$ ($< 0.03\text{ps/nm}^2/\text{km}$)、波長 1560nm で $0.000\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であった。さらに、波長 1550nm における偏波分散値は $0.11\text{ps/km}^{1/2}$ ($< 0.15\text{ps/km}^{1/2}$) であった。なお、図 2 は、この実施例 1 に係る分散フラット光ファイバ 100 の分散特性を示すグラフである。

実施例 2

図 3 は、この発明の実施例 2 に係る分散フラット光ファイバの屈折率プロファイルである。なお、この実施例 2 の分散フラット光ファイバの断面構造は、図 1

Aに示された構造と同じである。したがって、この屈折率プロファイル160は図1A中の線L1に沿った各領域の屈折率に相当し、また、領域161は第1コア201の線L1上の各部位、領域162は第2コア202の線L1上の各部位、領域163は第1クラッド301の線L1上の各部位、領域154は第2クラッド302の線L1上の各部位に相当している。

この実施例2において、領域161に相当する第1コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_1 は $3.75\mu\text{m}$ 、領域162に相当する第2コア（屈折率 $n_2 > n_1$ ）の外径 b_1 は $8.25\mu\text{m}$ 、領域163に相当する第1クラッド（屈折率 $n_3 = n_1$ ）の外径 c_1 は $15.0\mu\text{m}$ 、領域164に相当する第2クラッド（屈折率 $n_4 > n_3$ ）の外径は $125\mu\text{m}$ である。また、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_4) / n_4)$ 及び第1クラッドの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_4) / n_4)$ は、ともに -0.60% であり、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_4) / n_4)$ は 6.3% である。

発明者らは、以上のように構成された実施例1に係る分散フラット光ファイバの波長 1550nm における諸特性を測定した。その結果、波長 1550nm における分散値は 0.12ps/nm/km ($< |5|\text{ps/nm/km}$)、波長 1550nm における実効断面積 A_{eff} は $72\mu\text{m}^2$ ($> 45\mu\text{m}^2$)、長さ 2m でのカットオフ波長は $1.187\mu\text{m}$ ($> 1.0\mu\text{m}$)であった。また、分散スロープは、波長 1530nm で $0.0096\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 1550nm で $-0.0120\text{ps/nm}^2/\text{km}$ ($< 0.003\text{ps/nm}^2/\text{km}$)、波長 1560nm で $-0.0265\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であった。さらに、波長 1550nm における偏波分散値は $0.10\text{ps/km}^{1/2}$ ($< 0.15\text{ps/km}^{1/2}$)であった。なお、図4は、この実施例2に係る分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

実施例3

図5Aは、実施例3に係る分散フラット光ファイバの断面構造を示す図であり、

図5 Bは、図5 A中の線L 2に沿って示された屈折率プロファイルである。なお、線L 2は当該分散フラット光ファイバ5 0 0の中心軸を示す点O₂で交差する線である。この実施例3に係る分散フラット光ファイバ5 0 0は、3層コア構造のコア領域6 0 0と、ディプレストクラッド構造のクラッド領域7 0 0とを備えている。上記コア領域6 0 0は、屈折率 n_1 を有する外径a 2の第1コア6 0 1と、該第1コア6 0 1の外周に設けられるとともに屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する外径b 2の第2コア6 0 2と、該第2コア6 0 2の外周に設けられるとともに屈折率 n_3 ($> n_2$) を有する外径c 2の第3コア6 0 3とを備えている。また、上記クラッド領域7 0 0は、第3コア6 0 3の外周に設けられるとともに屈折率 n_4 ($< n_3$) を有する外径c 2の第1クラッド7 0 1と、該第1クラッド7 0 1の外周に設けられるとともに屈折率 n_5 ($> n_4$) を有する第2クラッド7 0 2を備えている。

ここで、図5 Bの屈折率プロファイル5 1 0は、図5 A中の線L 2に沿った各領域の屈折率を示しており、領域5 1 1は第1コア6 0 1の線L 2上の各部位、領域5 1 2は第2コア6 0 2の線L 2上の各部位、領域5 1 3は第3コア6 0 3の線L 2上の各部位、領域5 1 4は第1クラッド7 0 1の線L 2上の各部位、領域5 1 5は第2クラッド7 0 2の線L 2上の各部位に相当している。

この実施例3において、第2クラッド7 0 2 (クラッド領域7 0 0の基準領域) に対する第1コア6 0 1の比屈折率差 Δn_1 は0. 58%、第2クラッド7 0 2 に対する第2コア6 0 2の比屈折率差 Δn_2 は-0. 10%、第2クラッド7 0 2 に対する第3コア6 0 3の比屈折率差 Δn_3 は0. 40%、第2クラッド7 0 2 に対する第1クラッド7 0 1の比屈折率差 Δn_4 は-0. 27%である。また、第1コア6 0 1の外径a 2は5. 8 μm 、第2コア6 0 2の外径b 2は16. 2 μm 、第3コア6 0 3の外径c 2は23. 2 μm 、第1クラッド7 0 1の外径d は46. 4 μm 、当該分散フラット光ファイバ5 0 0の外径 (第2クラッド7 0 2の外径) 125 μm である。なお、各領域の比屈折率差は以下のように与えら

れる。

$$\Delta n_1 = (n_1 - n_5) / n_5$$

$$\Delta n_2 = (n_2 - n_5) / n_5$$

$$\Delta n_3 = (n_3 - n_5) / n_5$$

$$\Delta n_4 = (n_4 - n_5) / n_5$$

発明者らは、以上のように構成された実施例3に係る分散フラット光ファイバ500の波長1550nmにおける諸特性を測定した。その結果、波長1550nmにおける分散値は -2.2 ps/nm/km ($< |5| \text{ ps/nm/km}$)、波長1550nmにおける実効断面積 A_{eff} は $50 \mu\text{m}^2$ ($> 45 \mu\text{m}^2$)、長さ2mでのカットオフ波長は $1.920 \mu\text{m}$ ($> 1.0 \mu\text{m}$)であった。また、分散スロープは、波長1530nmで $0.0129 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長1550nmで $0.0172 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ ($< 0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$)、波長1560nmで $0.0198 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であった。さらに、波長1550nmにおける偏波分散値は $0.06 \text{ ps/km}^{1/2}$ ($< 0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$)であった。なお、図6は、この実施例3に係る分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

実施例4

図7は、この発明の実施例4に係る分散フラット光ファイバの屈折率プロファイルである。なお、実施例4の分散フラット光ファイバは、図5Aのコア領域600と同様な3層コア構造のコア領域と単一層のクラッド領域を有し、その屈折率プロファイル170は、トリブルクラッド型の屈折率プロファイルとも呼ばれる。

屈折率プロファイル170は、基本的には図5A中の線L2に沿った各領域の屈折率に相当し、また、領域171は第1コア601の線L2上の各部位、領域172は第2コア602の線L2上の各部位、領域173は第3コア603の線L2上の各部位、領域174は第2クラッド702の線L2上の各部位に相当し

ている。ただし、実施例4の分散フラット光ファイバでは、図5A中の第1クラッドに相当する領域は存在しない。

この実施例4において、領域171に相当する第1コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_2 は $7.3\mu\text{m}$ 、領域172に相当する第2コア（屈折率 $n_2 < n_1$ ）の外径 b_2 は $15.0\mu\text{m}$ 、領域173に相当する第3コア（屈折率 $n_3 > n_2$ ）の外径 c_2 は $22.0\mu\text{m}$ 、領域174に相当するクラッド（屈折率 $n_4 < n_3$ ）の外径は $125\mu\text{m}$ である。また、クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_4) / n_4)$ は 0.58% 、クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_4) / n_4)$ は -0.18% 、クラッドに対する第3コアの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_4) / n_4)$ は 0.27% 、である。

発明者らは、以上のように構成された実施例1に係る分散フラット光ファイバの波長 1550nm における諸特性を測定した。その結果、波長 1550nm における分散値は -0.37ps/nm/km ($< |5|\text{ps/nm/km}$)、波長 1550nm における実効断面積 A_{eff} は $52.8\mu\text{m}^2$ ($> 45\mu\text{m}^2$)、長さ 2m でのカットオフ波長は $1.713\mu\text{m}$ ($> 1.0\mu\text{m}$)であった。また、分散スロープは、波長 1530nm で $0.0005\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 1550nm で $0.0005\text{ps/nm}^2/\text{km}$ ($< 0.003\text{ps/nm}^2/\text{km}$)、波長 1560nm で $0.0010\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であった。直径 20mm で曲げられたときの伝送損失（曲げ損失）は 3.2dB/m であった。さらに、波長 1550nm における偏波分散値は $0.08\text{ps/km}^{1/2}$ ($< 0.15\text{ps/km}^{1/2}$)であった。なお、図8は、この実施例4に係る分散フラット光ファイバの分散特性を示すグラフである。

図9は、以上に説明された実施例1～4に係る分散フラット光ファイバそれぞれの波長 1550nm における諸特性をまとめた表である。これら各実施例に係る分散フラット光ファイバは何れも、分散の絶対値が 5ps/nm/km 以下、実効断面積 A_{eff} が $45\mu\text{m}^2$ 以上、分散スロープが $0.03\text{ps/nm}^2/\text{km}$

以下であり、長さ 2 m でのカットオフ波長が $1.0 \mu\text{m}$ 以上、偏波分散が $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下である。

何れの分散フラット光ファイバも、分散スロープが極めて小さく分散特性は平坦であり、また、実効断面積 A_{eff} が $45 \mu\text{m}^2$ 以上と大きいので、分散フラット光ファイバ中における信号光のパワー密度が低く抑えられて非線形光学現象の発生は効果的に抑制されるとともに、高い S/N 比で伝送が可能である。さらに、長さ 2 m でのカットオフ波長が $1.0 \mu\text{m}$ 以上であるので、これらの分散フラット光ファイバは優れた曲げ特性を有する（曲げ損失が小さい）。したがって、これらの分散フラット光ファイバは、光増幅器を用いた時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送に用いるのに好適である。特に、実施例 2 に係る分散フラット光ファイバ（図 3）は、実効断面積 A_{eff} が $70 \mu\text{m}^2$ 以上であるので、分散フラット光ファイバ中における信号光のパワー密度がより低く抑えられる（非線形光学現象の発生がより抑制される）。実施例 3 に係る分散フラット光ファイバ（図 5 A 及び図 5 B）は、長さ 2 m でのカットオフ波長が信号光波長よりも長い。しかしながら、後述するように実際の信号光の伝送距離が数百 km～数千 km であることを考慮すると、高次モードは減衰するので、何等支障はない。

なお、この発明は、上述された実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、実施例 1～4 で示された屈折率プロファイルは例示であって、この発明に係る分散フラット光ファイバを実現するための屈折率プロファイルは他にも種々の態様が有り得る。

発明者らは、図 5 B に示された屈折率プロファイルを有する分散フラット光ファイバの応用例として、図 10 に示されたよう第 3 コアにおけるプロファイルボリュームを変えたサンプル 1～5 を用意し、これらサンプル 1～5 について、コア領域の外径（第 3 コアの外径） c_2 と分散スロープ ($\text{ps/nm}^2/\text{km}$) との関係、及び第 3 コアの外径 c_2 と長さ 2 m でのカットオフ波長 (μm) との関係を調べた。具体的に、用意されたサンプル 1～5 では、第 3 コアの外径に対す

る第2コアの外径の比 (b_2/c_2) と第2クラッドに対する第3コアの比屈折率差 Δn_3 が変えられている。一方、用意されたサンプル1～5において、他のパラメータは共通であり、第3コアの外径に対する第1コアの外径の比 (a_2/c_2) は0.25、第3コアの外径に対する第1クラッドの外径の比 (d/c_2) は2.0、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 Δn_1 は0.6%、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 Δn_2 及び第1クラッドの比屈折率差 Δn_4 は、ともに-0.05%である。

図11A及び図11Bは、サンプル1～5について、コア領域の外径 (第3コアの外径 c_2) に対する分散スロープ ($ps/nm^2/km$) の変化を示すグラフであり、図12A及び図12Bは、サンプル1～5について、第3コアの外径 c_2 に対するカットオフ波長 (μm) の変化を示すグラフである。また、これら図11A～図12Bにおいて、S1はサンプル1のグラフ、S2はサンプル2のグラフ、S3はサンプル3のグラフ、S4はサンプル4のグラフ、S5はサンプル5のグラフをそれぞれ示している。

これらのグラフからも分かるように、第2クラッドに対する第3コアの比屈折率差 Δn_3 が低すぎるか、あるいは第3コアの外径に対する第2コアの外径の比 (b_2/c_2) が大きすぎると、分散スロープを $0.03 ps/nm^2/km$ 以下にすることができない。また、長さ2mでのカットオフ波長も短くなり、曲げ損失が増加してしまう。したがって、分散スロープを低減し、長さ2mでのカットオフ波長を長くして曲げ損失を改善するためには、第3コアの比屈折率差 Δn_3 を大きく設定するとともに、第3コアの幅を厚くする必要がある。ちなみに、上述の3層コア構造のコア領域 (第3コアを有する) を備えた実施例3及び実施例4に係る分散フラット光ファイバにおいて、以下の(5)式で与えられる第3コアのプロファイルボリュームは、それぞれ $13.8\% \cdot \mu m^2$ 、 $8.7\% \cdot \mu m^2$ であった (図9参照)。

$$\int_{b/2}^{c/2} \Delta n(r) r dr \quad \dots (5)$$

次に、発明者らは実施例3（図5A及び図5B）に係る分散シフトファイバの応用例として、それぞれ図13A～図13Cに示された屈折率プロファイルを有するサンプル6～9を用意し、これらサンプル6～9について波長1550nmにおける諸特性を測定した。なお、用意されたサンプル6～9の構造は図5Aに示された断面構造と同様であり、第1コア、第2コア及び第3コアから構成されたコア領域と、第1クラッド及び第2クラッドから構成されたクラッド領域とを備えている。

サンプル6は図13Aに示された屈折率プロファイル520を有し、該屈折率プロファイル520は、図5A中の線L2に沿った各領域の屈折率に相当している。また、この屈折率プロファイル520において、領域521は第1コア601の線L2上の各部位、領域522は第2コア602の線L2上の各部位、領域523は第3コア603の線L2上の各部位、領域524は第1クラッド701の線L2上の各部位、領域525は第2クラッド702の線L2上の各部位に相当している。

サンプル6において、領域521に相当する第1コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_2 は5.7 μm 、領域522に相当する第2コア（屈折率 $n_2 < n_1$ ）の外径 b_2 は14.7 μm 、領域523に相当する第3コア（屈折率 $n_3 > n_2$ ）の外径 c_2 は22.6 μm 、領域524に相当する第1クラッド（屈折率 $n_4 = n_2$ ）の外径 d は45.2 μm 、領域525に相当する第2クラッド（屈折率 $n_5 > n_4$ ）の外径は125 μm である。また、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_5) / n_5)$ は0.60%、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_5) / n_5)$ 及び第1クラッドの比屈折率差 $\Delta n_4 (= (n_4 - n_5) / n_5)$ は、ともに-0.05%、第2クラッドに対する第3コア

の比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_5) / n_5)$ は0.30%である。さらに、第3コアの外径に対する第1コアの外径の比 (a_2 / c_2) は0.25、第3コアの外径に対する第2コアの外径の比 (b_2 / c_2) は0.65である。

次に、サンプル7は図13Bに示された屈折率プロファイル530を有し、該屈折率プロファイル530は、図5A中の線L2に沿った各領域の屈折率に相当している。また、この屈折率プロファイル530において、領域531は第1コア601の線L2上の各部位、領域532は第2コア602の線L2上の各部位、領域533は第3コア603の線L2上の各部位、領域534は第1クラッド701の線L2上の各部位、領域535は第2クラッド702の線L2上の各部位に相当している。なお、用意されたサンプル7は、領域533における屈折率プロファイル（第3コア領域の径方向の屈折率プロファイルに相当）の形状が図5Bに示された屈折率プロファイル510における領域513の形状と異なっている。

サンプル7において、領域531に相当する第1コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_2 は $5.6 \mu\text{m}$ 、領域532に相当する第2コア（屈折率 $n_2 < n_1$ ）の外径 b_2 は $12.6 \mu\text{m}$ 、領域533に相当する第3コア（屈折率 $n_3 > n_2$ ）の外径 c_2 は $24.2 \mu\text{m}$ 、領域534に相当する第1クラッド（屈折率 $n_4 = n_2$ ）の外径 d は $48.4 \mu\text{m}$ 、領域535に相当する第2クラッド（屈折率 $n_5 > n_4$ ）の外径は $125 \mu\text{m}$ である。また、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_5) / n_5)$ は0.60%、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_5) / n_5)$ 及び第1クラッドの比屈折率差 $\Delta n_4 (= (n_4 - n_5) / n_5)$ は、ともに-0.05%、第2クラッドに対する第3コアの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_5) / n_5)$ は0.41%である。さらに、第3コアの外径に対する第1コアの外径の比 (a_2 / c_2) は0.23、第3コアの外径に対する第2コアの外径の比 (b_2 / c_2) は0.52である。

サンプル8は図13Cに示された屈折率プロファイル540を有し、該屈折率

プロファイル 540 は、図 5 A 中の線 L 2 に沿った各領域の屈折率に相当している。また、この屈折率プロファイル 540 において、領域 541 は第 1 コア 601 の線 L 2 上の各部位、領域 542 は第 2 コア 602 の線 L 2 上の各部位、領域 543 は第 3 コア 603 の線 L 2 上の各部位、領域 544 は第 1 クラッド 701 の線 L 2 上の各部位、領域 545 は第 2 クラッド 702 の線 L 2 上の各部位に相当している。なお、用意されたサンプル 8 は、領域 541 における屈折率プロファイル（第 1 コア領域の径方向の屈折率プロファイルに相当）の形状が図 5 B に示された屈折率プロファイル 510 における領域 511 の形状と異なっている。

サンプル 8 において、領域 541 に相当する第 1 コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_2 は $8.6 \mu\text{m}$ 、領域 542 に相当する第 2 コア（屈折率 $n_2 < n_1$ ）の外径 b_2 は $17.6 \mu\text{m}$ 、領域 543 に相当する第 3 コア（屈折率 $n_3 > n_2$ ）の外径 c_2 は $25.2 \mu\text{m}$ 、領域 544 に相当する第 1 クラッド（屈折率 $n_4 = n_2$ ）の外径 d は $50.4 \mu\text{m}$ 、領域 545 に相当する第 2 クラッド（屈折率 $n_5 > n_4$ ）の外径は $125 \mu\text{m}$ である。また、第 2 クラッドに対する第 1 コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_5) / n_5)$ は 0.85% 、第 2 クラッドに対する第 2 コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_5) / n_5)$ 及び第 1 クラッドの比屈折率差 $\Delta n_4 (= (n_4 - n_5) / n_5)$ は、ともに -0.05% 、第 2 クラッドに対する第 3 コアの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_5) / n_5)$ は 0.29% である。さらに、第 3 コアの外径に対する第 1 コアの外径の比 (a_2 / c_2) は 0.34 、第 3 コアの外径に対する第 2 コアの外径の比 (b_2 / c_2) は 0.74 である。

一方、サンプル 9 は上述のサンプル 6 に類似した屈折率プロファイルを有する（図 13 A 参照）。したがって、サンプル 9 において、領域 521 に相当する第 1 コア（屈折率 n_1 ）の外径 a_2 は $6.6 \mu\text{m}$ 、領域 522 に相当する第 2 コア（屈折率 $n_2 < n_1$ ）の外径 b_2 は $18.9 \mu\text{m}$ 、領域 523 に相当する第 3 コア（屈折率 $n_3 > n_2$ ）の外径 c_2 は $25.5 \mu\text{m}$ 、領域 524 に相当する第 1 クラッド（屈折率 $n_4 = n_2$ ）の外径 d は $41.0 \mu\text{m}$ 、領域 525 に相当する第 2 ク

ラッド（屈折率 $n_5 > n_4$ ）の外径は $125\mu\text{m}$ である。また、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_5) / n_5)$ は 0.50% 、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_5) / n_5)$ 及び第1クラッドの比屈折率差 $\Delta n_4 (= (n_4 - n_5) / n_5)$ は、ともに -0.15% 、第2クラッドに対する第3コアの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_5) / n_5)$ は 0.43% である。さらに、第3コアの外径に対する第1コアの外径の比（ $a2/c2$ ）は 0.26 、第3コアの外径に対する第2コアの外径の比（ $b2/c2$ ）は 0.74 である。以上の構成により、正の分散値を有するとともに極めて小さい分散スロープを有する分散フラットファイバが得られる。

以上のように設計されたサンプル6～9の、波長 1550nm における諸特性を図14に示す。なお、（5）式で与えられる第3コアのプロファイルボリュームは、上述のサンプル3～9の各値を考慮して $7.0\% \cdot \mu\text{m}^2$ 以上であることが好ましい。

さらに発明者らは、図13Bに示された屈折率プロファイルを有する分散フラット光ファイバ（サンプル7）について、第3コアの外径 $c2$ （コア領域の外径）と上述の諸特性との関係について用意された複数のサンプルを測定してみた。なお、用意されたサンプルは、第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差 $\Delta n_1 (= (n_1 - n_5) / n_5)$ は 0.61% 、第2クラッドに対する第2コアの比屈折率差 $\Delta n_2 (= (n_2 - n_5) / n_5)$ 及び第1クラッドの比屈折率差 $\Delta n_4 (= (n_4 - n_5) / n_5)$ は、ともに -0.05% 、第2クラッドに対する第3コアの比屈折率差 $\Delta n_3 (= (n_3 - n_5) / n_5)$ は 0.35% である。また、第2クラッドは純石英とした。さらに、第3コアの外径に対する第1コアの外径の比（ $a2/c2$ ）は 0.23 、第3コアの外径に対する第2コアの外径の比（ $b2/c2$ ）は 0.52 、第3コアの外径に対する第1クラッドの外径の比（ $d/c2$ ）は 1.8 である。

図15A～図15Dは、用意されたサンプルについての測定結果であり、図1

5 Aは第3コアの外径 c_2 (μm)と実効断面積 A_{eff} (μm^2)との関係、図15 Bは第3コアの外径 c_2 (μm)と直径20 mmで曲げられたときの曲げロス (dB/m)との関係、図15 Cは第3コアの外径 c_2 (μm)と分散スロープとの関係 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)との関係、図15 Dは第3コアの外径 c_2 (μm)と分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)との関係を示している。また、各グラフにおいて、曲線L3、L4、L5、L6はそれぞれ計算により得られた理論曲線であり、プロットされている点(dot)は測定値を表している。

これらのグラフからも分かるように、得られる分散フラット光ファイバは、波長1550 nmにおいて $-4 \sim +4 \text{ ps}/\text{nm}/\text{km}$ の分散値 ($< |5| \text{ ps}/\text{nm}/\text{km}$)と、 $0.026 \sim 0.028 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ ($< 0.03 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)と、 $47 \sim 52 \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} ($> 45 \mu\text{m}^2$)を有する。

特に、図15 Cにおいて着目すべき点は、図中Aで示された領域においては第3コアの外径が変動しても分散スロープの変動が小さくなっている点である。一般に、光ファイバを製造する場合、製造された各ロット間にはコア領域の外径に $\pm 2\%$ 程度の製造バラツキが生じてしまう ($\pm 2\%$ 程度までしか外径制御できない)。したがって、分散スロープのバラツキを抑制する範囲でコア領域の外径を制御できれば、必然的に製造バラツキに起因した各製造物(分散フラット光ファイバ)の特性バラツキの発生を回避することができる。

図16 A及び図16 Bは、サンプル8について、コア領域の外径変動と諸特性の変動との関係を示すグラフであり、図16 Aは、第3コアの外径 C_2 と、分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)及び分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)の関係、図16 Bは、コア領域の外径の変動率 (%)に対する分散スロープの変動量 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}/\%$)の関係を示している。なお、図16 A中、Dはサンプル8の分散、DSはサンプル8の分散スロープを示している。

図16 Aからも分かるように、信号光が伝搬する領域(主にコア領域)の直径

が大きくなるにしたがって、分散値は大きくなるが、分散スロープは第3コアの外径 c_2 がある値のときに極小値をとる。特に、この極小値近傍では分散スロープの変動は小さくなる。具体的には、図16Bに示されたグラフからも分かるように、コア領域の外径を適切な値に設定して分散フラット光ファイバを設計すれば、外径制御可能な $\pm 2\%$ のコア領域の外径の変動率に対し、分散スロープの変化量を $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}/\%$ 以下に抑えることが可能である。

次に、この発明に係る分散フラット光ファイバにおける、曲げ損失 (dB/m) とカットオフ波長について言及する。

図17Aは、第3コアの外径 c_2 を $22.4 \mu\text{m}$ に固定し、曲げ径 (mm) の変化に対する曲げ損失 (dB/m) の測定値をプロットしたグラフであり、図中L7は計算により得られた理論値を表している。このグラフからも分かるように、 32 mm の曲げ径における曲げ損失は 0.04 dB/m ($=0.004 \text{ dB/ターン}$) であり、良好な値であることが分かる。

一方、図17Bは、第3コアの外径 c_2 を $22.8 \mu\text{m}$ に固定し、ファイバ長 (km) の変化に対するカットオフ波長 (μm) の測定値をプロットしたグラフであり、図中L8は計算により得られた理論値を表している。なお、線L8の傾きは、 -252 nm/decade である。このグラフからも分かるように、長さ 2 m でのカットオフ波長が $2.080 \mu\text{m}$ であっても、 200 m 程度の長さがあればシングルモード動作が保証されるため、長さ 2 m でのカットオフ波長が信号光波長よりも長い場合であっても実用上問題はない (通常、海底ケーブル等では、 5 km 程度の複数の光ファイバを融着して光伝送路を構成する)。

さらに、図18Aは、上述されたサンプル1～5について、第3コアのプロファイルボリューム ($\% \cdot \mu\text{m}^2$) と分散スロープ ($\text{ps/nm}^2/\text{km}$) との関係を示すグラフであり、図18Bは、該サンプル1～5について、第3コアのプロファイルボリューム ($\% \cdot \mu\text{m}^2$) とカットオフ波長 (μm) との関係を示すグラフである。上述されたように、3層コア構造のコア領域を有する分散フラット

光ファイバ（第3コアを備えた実施例3及び実施例4）では、長さ2 mでのカットオフ波長は $1.4 \mu\text{m}$ である必要がある。また、分散スロープは $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であるのが好ましい。したがって、これらの制限を満たすためには、図18A及び図18Bから、第3コアにおけるプロファイルボリューム（（5）式参照）は $7.0\% \cdot \mu\text{m}^2$ 以上でなければならない。なお、図18A及び図18B中、S1～S5はそれぞれ上述のサンプル1～5の、プロファイルボリュームに対する分散スロープ及びカットオフ波長を示している。

産業上の利用可能性

以上、詳細に説明したとおり、この発明に係る分散フラット光ファイバは、波長 1550 nm における分散の絶対値が $5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下であり、また、分散スロープが $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であるので、各信号光間の分散値の差異を使用波長帯域前端に渡って小さく抑えることが可能である。また、実効断面積が $45 \mu\text{m}^2$ 以上が好ましく、これら実効断面積と分散スロープとの適切な関係を実現することにより、当該分散フラット光ファイバ中における信号光のパワー密度が低く抑えられて非線形光学現象の発生は効果的に抑制され、高いS/N比での伝送を可能にする。さらに、長さ2 mにおけるカットオフ波長が $1.0 \mu\text{m}$ 以上であるので、この分散フラット光ファイバは優れた曲げ特性を有する。したがって、この分散フラット光ファイバは、光増幅器を用いた時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送に好適である。

また、実効断面積が $70 \mu\text{m}^2$ 以上である場合には、当該分散フラット光ファイバ中における信号光のパワー密度がさらに低く抑えられて非線形光学現象の発生をより効果的に抑制でき、この分散フラット光ファイバは、光増幅器を用いた時分割多重伝送や波長多重ソリトン伝送にさらに好適である。

請求の範囲

1. 所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた分散フラット光ファイバであって、波長1550nmにおける諸特性として、

絶対値が 5 ps/nm/km 以下である分散と、

$45\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積と、

$0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープと、

長さ2mにおいて $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長とを有する分散フラット光ファイバ。

2. 前記実効断面積は $50\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ前記分散スロープは $0.02\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の分散フラット光ファイバ。

3. 前記コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられるとともに該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとを備えたことを特徴とする請求項1記載の分散フラット光ファイバ。

4. 前記コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられるとともに該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられるとともにかつ該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとを備えたことを特徴とする請求項1記載の分散フラット光ファイバ。

5. 前記波長1550nmにおける諸特性として、 $0.15\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下の偏波分散をさらに有することを特徴とする請求項1～4のいずれか一項記

載の分散フラット光ファイバ。

6. 直径3.2mmに曲げられたときの伝送損失が0.5dB/ターン以下であり、長さ2mにおける前記カットオフ波長が1.4μm以上であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項記載の分散フラット光ファイバ。

7. 前記第2コアの外径をb、前記第3コアの外径をc、前記クラッド領域の基準領域に対する該第3コアの比屈折率差を Δn_3 とすると、

$$\Delta n_3 \geq 0.25\%$$

$$0.40 \leq b/c \leq 0.75$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項4記載の分散フラット光ファイバ。

8. 前記コア領域における中心から径方向の距離をr、該中心から距離rの部位での、前記クラッド領域の基準領域に対する比屈折率差を $\Delta n(r)$ とすると、

$$\int_{b/2}^{c/2} \Delta n(r) r dr \geq 7.0 (\% \cdot \mu m^2)$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項7記載の分散フラット光ファイバ。

9. 前記クラッド領域は、前記第3コアの外周の設けられかつ該第3コアよりも低い屈折率を有する第1クラッドと、前記基準領域に相当する領域であって、該第1クラッドの外周に設けられるとともに該第1クラッドよりも高い屈折率を有する第2クラッドとを備え、

前記第1コアの外径をa、前記第2コアの外径をb、前記第3コアの外径をc、前記第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差を Δn_1 、前記第2クラッドに

対する前記第1クラッドの比屈折率差を Δn_1 とすると、

$$0.40\% \leq \Delta n_1 \leq 0.90\%$$

$$\Delta n_1 \leq -0.02\%$$

$$0.20 \leq a/c \leq 0.35$$

$$20 \mu\text{m} \leq c \leq 30 \mu\text{m}$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項7記載の分散フラット光ファイバ。

10. 前記コア領域の外径は、前記分散スロープが極小値をとるときの値を中心にして $\pm 2\%$ の変動範囲内に設定されていることを特徴とする請求項1記載の分散フラット光ファイバ。

11. 前記コア領域の外径の $\pm 2\%$ の変動に対する前記分散スロープの変動量は、 $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の分散フラット光ファイバ。

12. 所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた分散フラット光ファイバであって、

波長 1550 nm における諸特性として、 $45 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積と、 $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有するとともに、

前記コア領域は、所定の屈折率を有するとともに前記クラッド領域の基準領域に対する比屈折率差が 0.6% 以下である第1コアと、該第1コアの外周に設けられるとともに該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられるとともに該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとを備えた分散フラット光ファイバ。

13. 前記実効断面積は $50 \mu\text{m}^2$ 以上、前記分散スロープは 0.02 ps

／nm²／km以下であって、前記波長1550nmにおける諸特性として、絶対値が5ps／nm／km以下である分散をさらに有することを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

14. 前記波長1550nmにおける諸特性として、0.15ps／km^{1/2}以下の偏波分散をさらに有することを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

15. 直径32mmに曲げられたときの伝送損失が0.5dB／ターン以下であることを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

16. 前記第2コアの外径をb、前記第3コアの外径をc、前記クラッド領域の基準領域に対する該第3コアの比屈折率差を Δn_3 とするとき、

$$\Delta n_3 \geq 0.25\%$$

$$0.40 \leq b/c \leq 0.75$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

17. 前記コア領域における中心から径方向の距離をr、該中心から距離rの部位での、前記クラッド領域の基準領域に対する比屈折率差を $\Delta n(r)$ とするとき、

$$\int_{b/2}^{c/2} \Delta n(r) r dr \geq 7.0 (\% \cdot \mu m^2)$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項16記載の分散フラット光ファイバ。

18. 前記クラッド領域は、前記第3コアの外周の設けられかつ該第3コア

よりも低い屈折率を有する第1クラッドと、前記基準領域に相当する領域であって、該第1クラッドの外周に設けられるとともに該第1クラッドよりも高い屈折率を有する第2クラッドとを備え、

前記第1コアの外径を a 、前記第2コアの外径を b 、前記第3コアの外径を c 、前記第2クラッドに対する第1コアの比屈折率差を Δn_1 、前記第2クラッドに対する前記第1クラッドの比屈折率差を Δn_4 とすると、

$$\Delta n_4 \leq -0.02\%$$

$$0.20 \leq a/c \leq 0.35$$

$$20\mu\text{m} \leq c \leq 30\mu\text{m}$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

19. 前記コア領域の外径は、前記分散スロープが極小値をとるときの値を中心にして $\pm 2\%$ の変動範囲内に設定されていることを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

20. 前記コア領域の外径の $\pm 2\%$ の変動に対する前記分散スロープの変動量は、 $0.003\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項12記載の分散フラット光ファイバ。

図1A

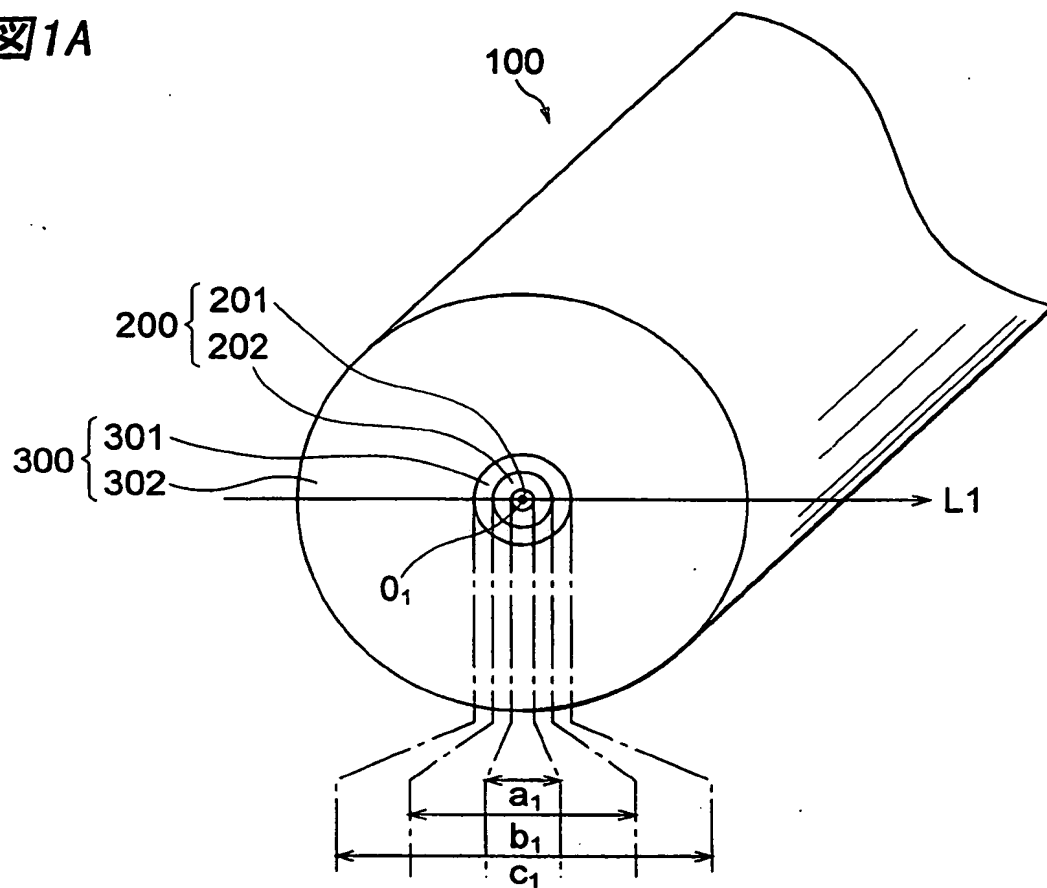


図1B

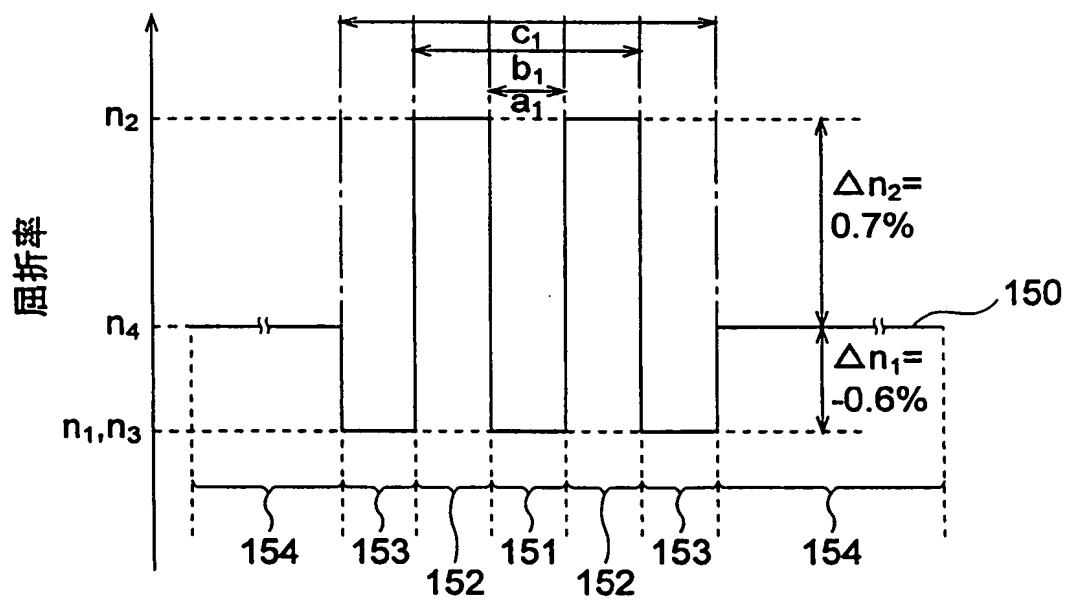


図2

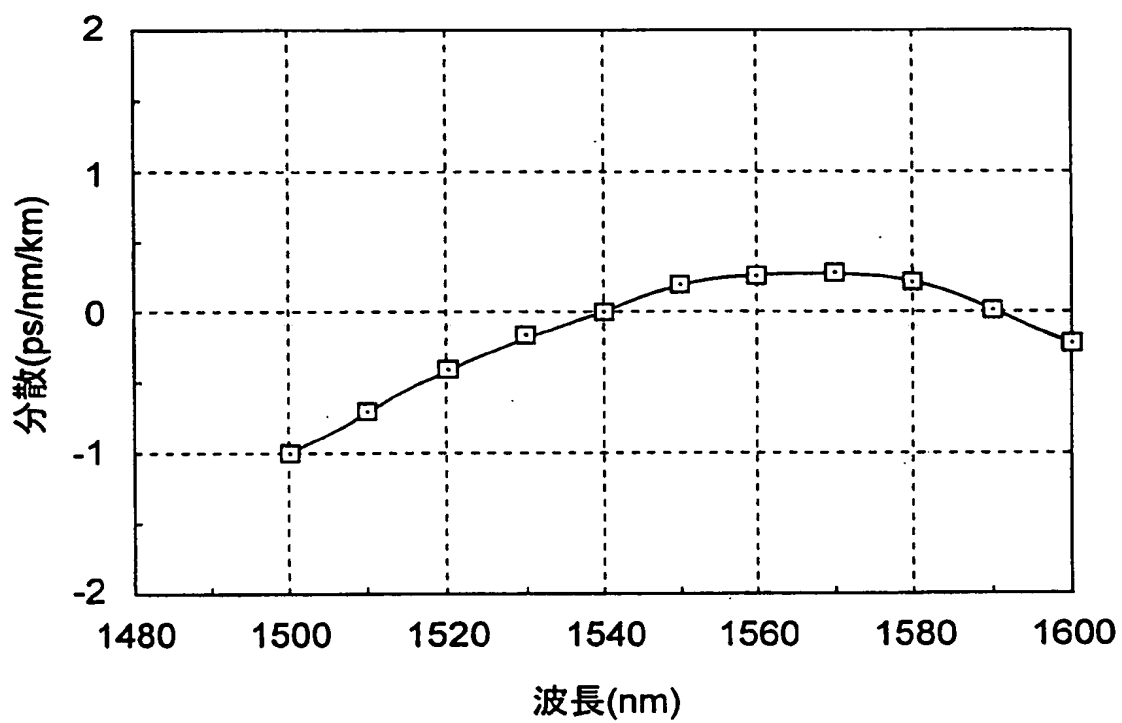


図3

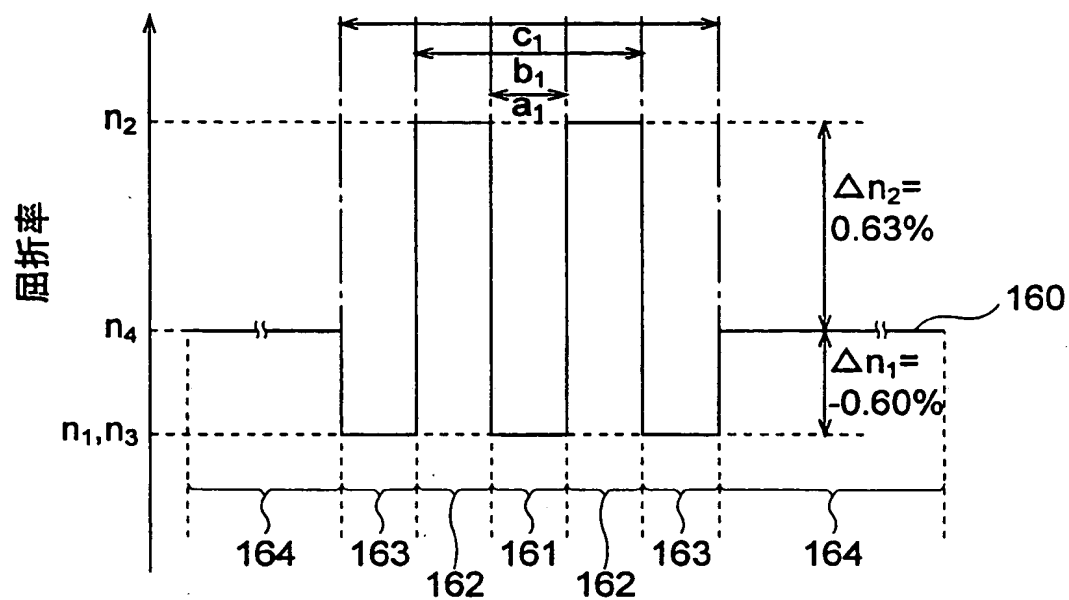


図4

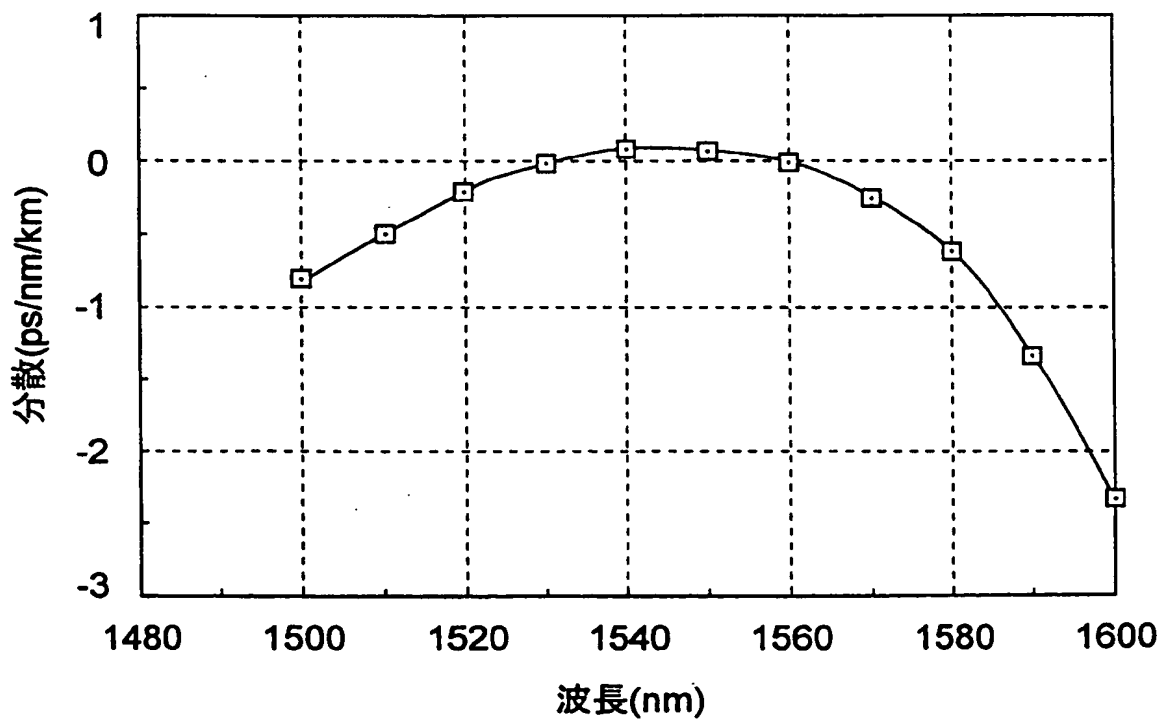


図5A

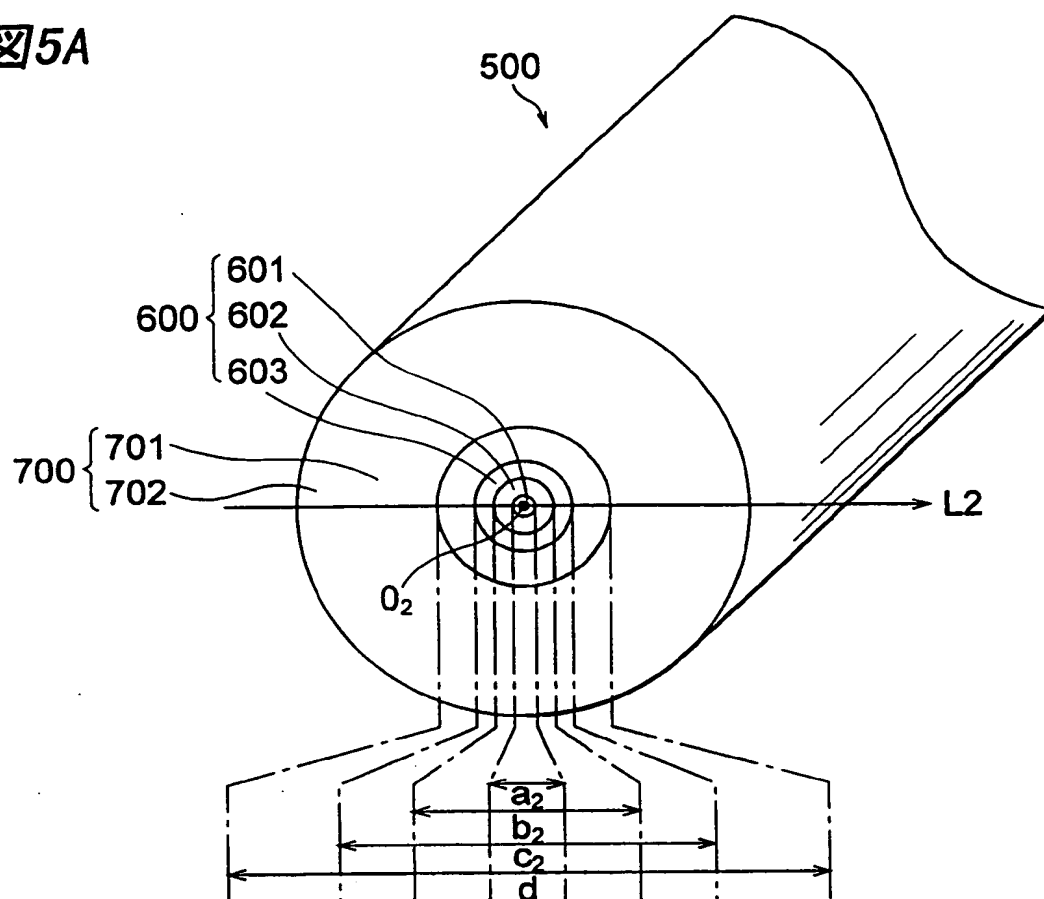


図5B

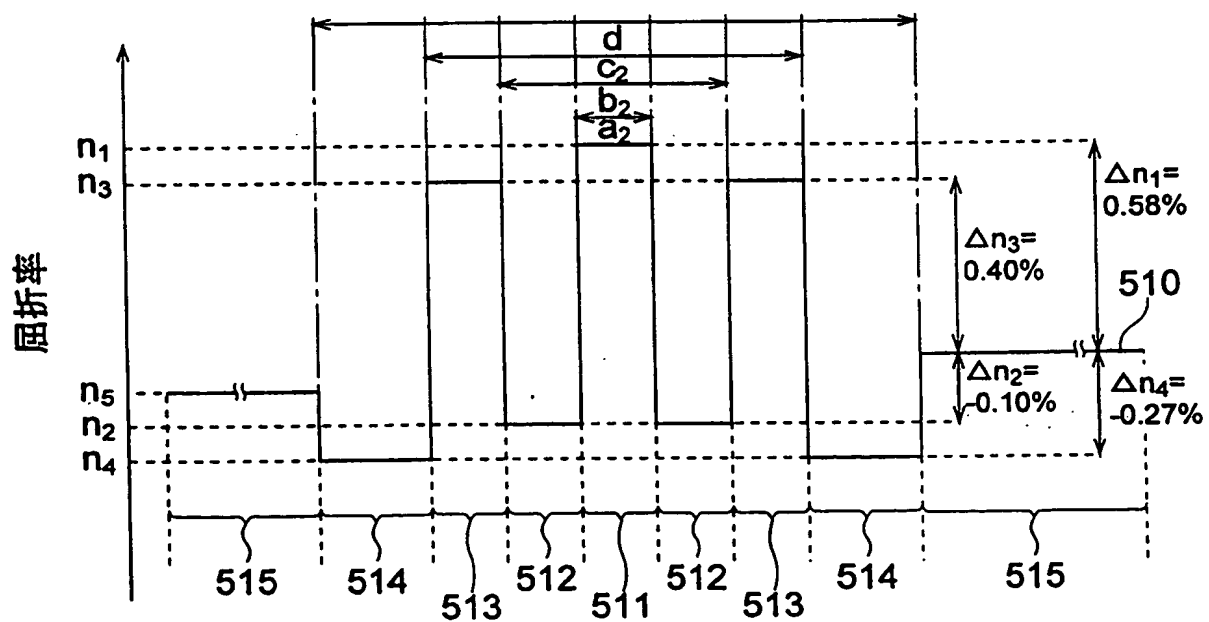


図6

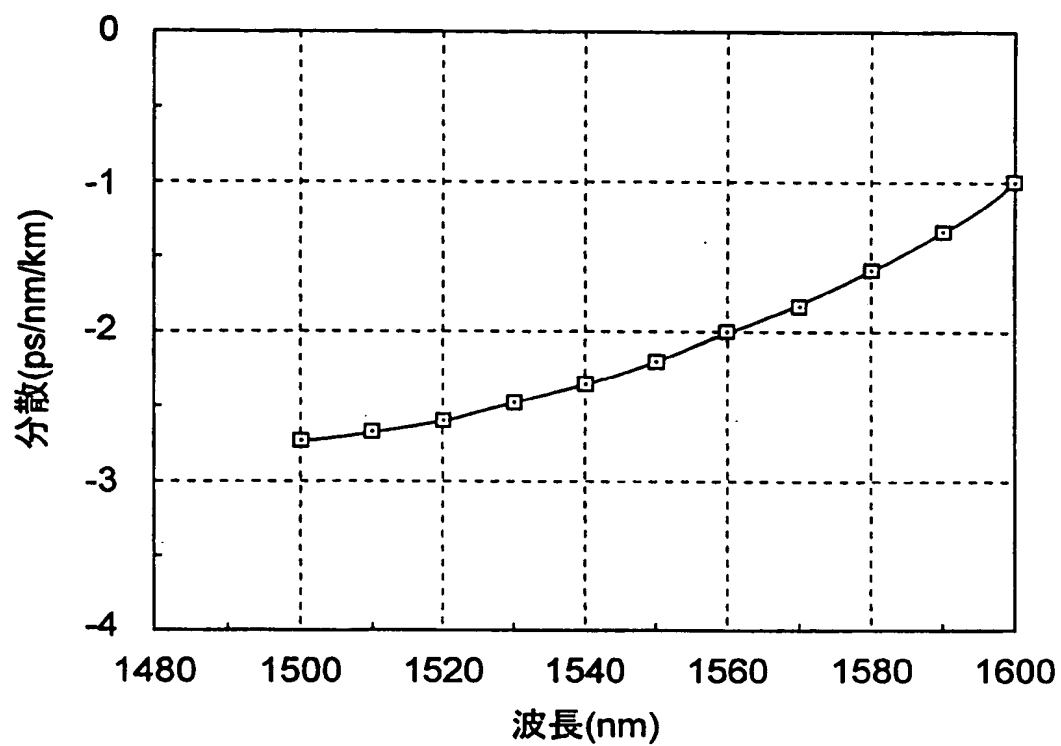


図7

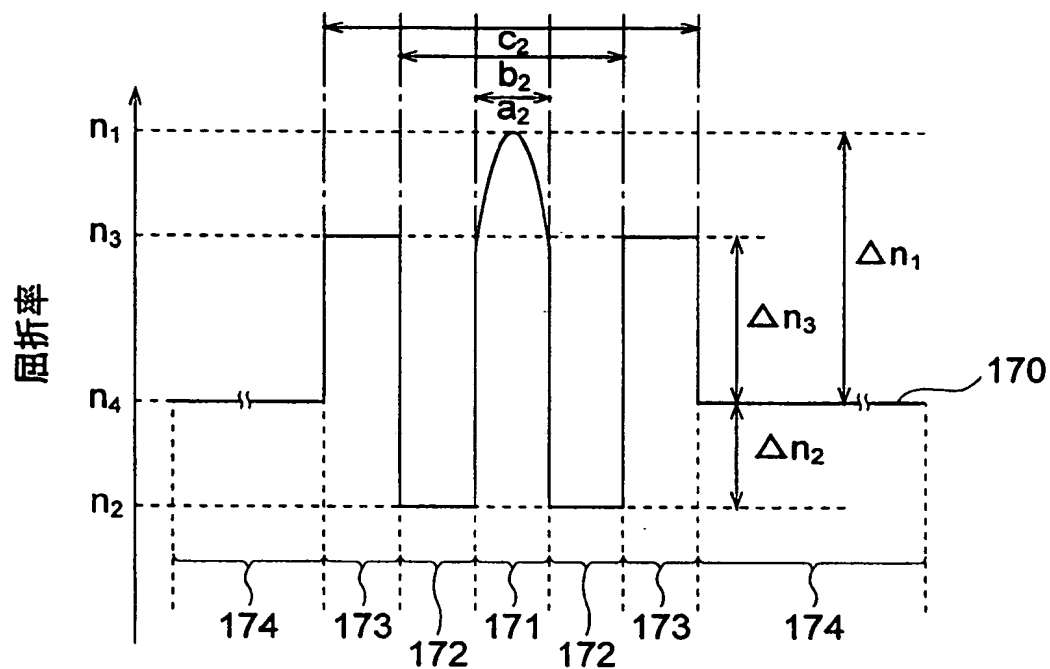


図8

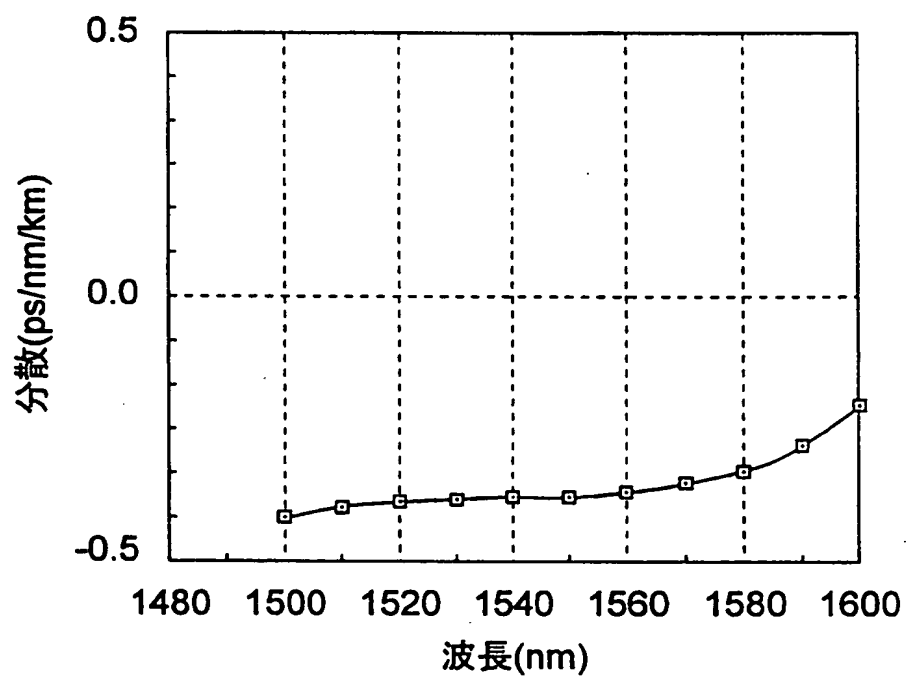


図9

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
波長分散(ps/nm/km)	0.17	0.12	-2.2	-0.37
実効断面積(μm^2)	58	72	50	52.8
波長分散スロープ(ps/nm ² /km)				
AT 1530nm	0.018	0.0096	0.0129	0.0005
AT 1550nm	0.007	-0.0120	0.0172	0.0005
AT 1560nm	0.000	-0.0265	0.0198	0.0010
カットオフ波長(μm)	1.153	1.187	1.920	1.713
偏波分散(ps/km ^{1/2})	0.11	0.10	0.06	0.08
プロファイル・ポリキュレーム(% μm^2)	—	—	13.8	8.7

図10

サンプル	1	2	3	4	5
$b2/c2$	0.65	0.65	0.65	0.72	0.80
Δn_3	0.30	0.25	0.20	0.30	0.30

図11A

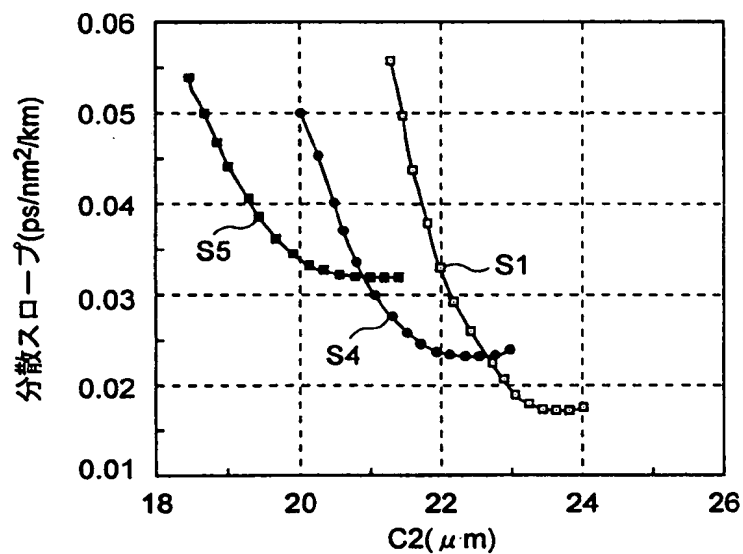


図11B

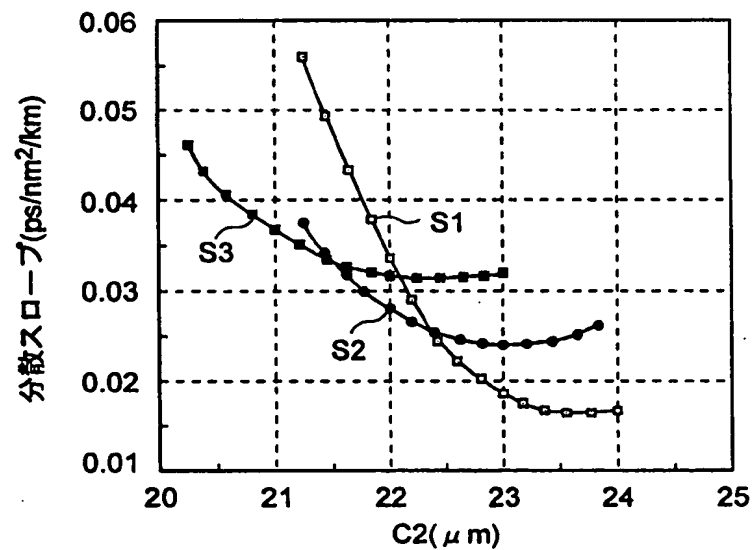


図12A

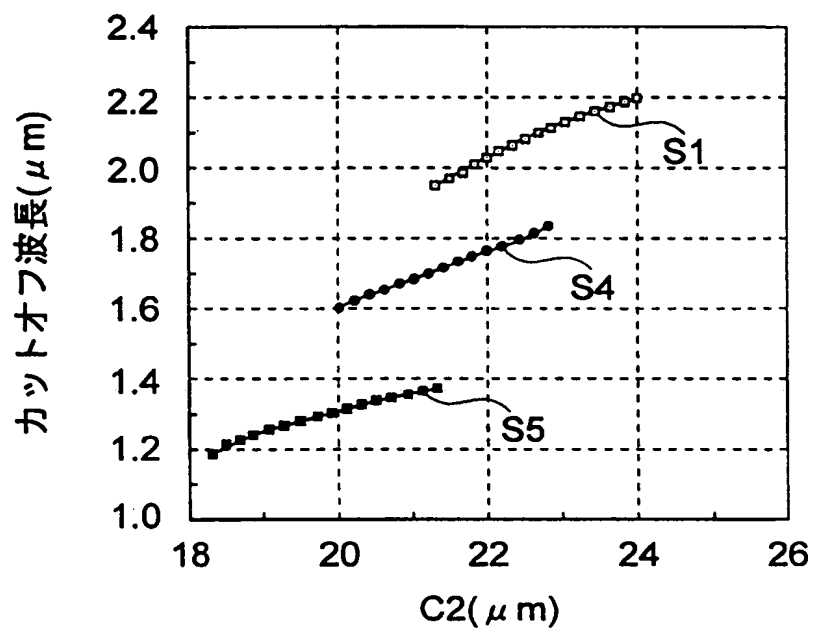


図12B

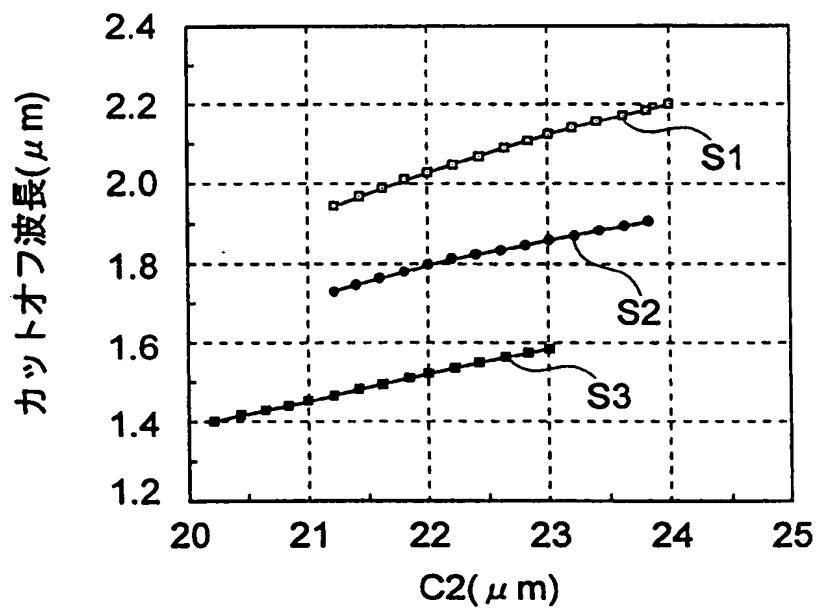


図13A

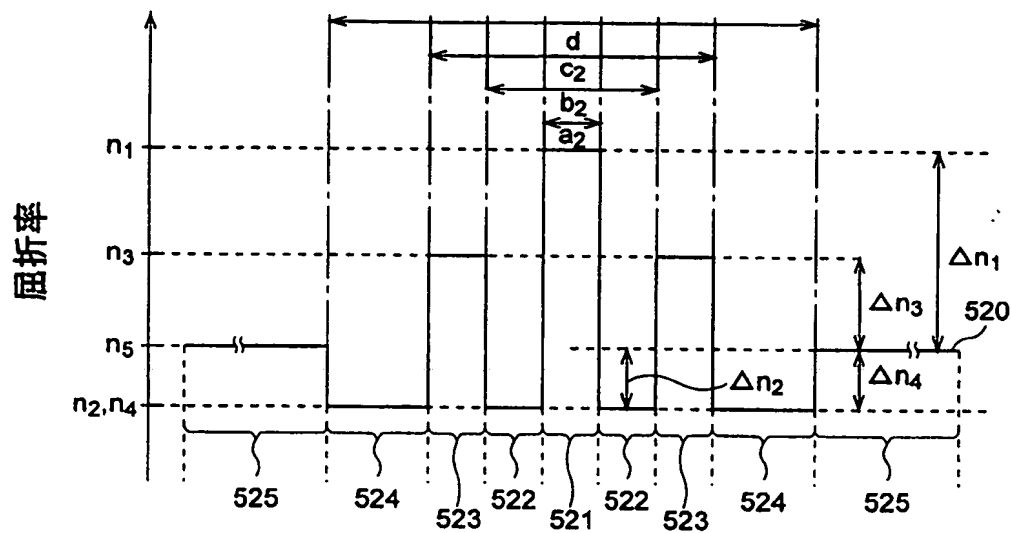


図13B

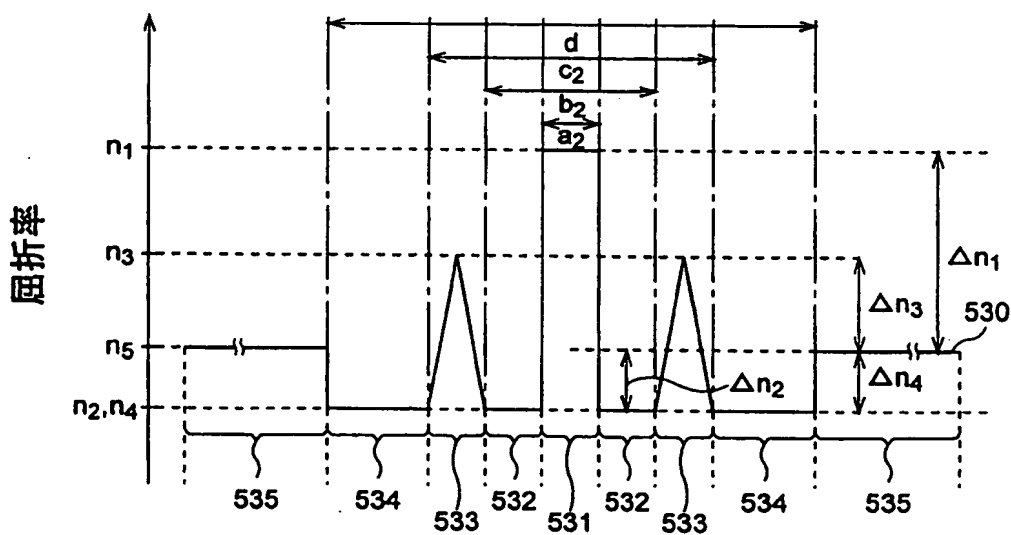


図13C

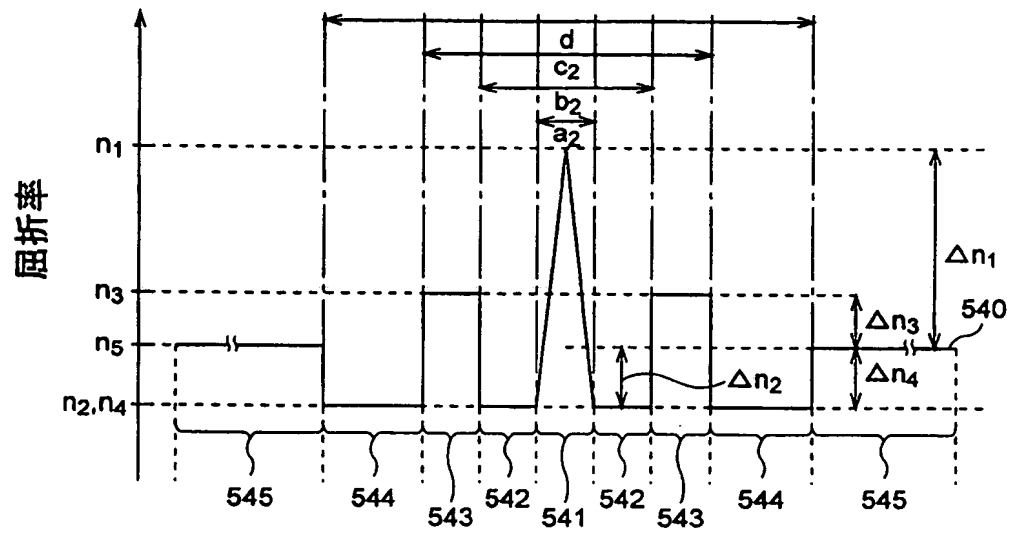


図14

サンプル	6	7	8	9
波長分散(ps/nm/km) AT 1550nm	-2.1	-2.6	-1.6	+3.1
波長分散スロープ(ps/nm ² /km) AT 1550nm	0.023	0.026	0.018	-0.010
実効断面積(μm^2)	50.2	50.7	50.7	53.9
カットオフ波長(μm) AT 2m	2.082	2.009	2.071	2.083
曲げロス(dB/m) AT曲げ径 32mm(dB/ターン)	0.03 (0.003)	0.05 (0.005)	0.1 (0.01)	0.1 (0.01)
曲げロス(dB/m) AT曲げ径 20mm	0.8	1.1	7.7	9.6
偏波分散(ps/km ^{1/2}) AT 1550nm	0.07	0.05	0.03	0.07
プロファイル・ポリユーム(% μm^2)	11.1	9.7	11.7	15.6

図15A

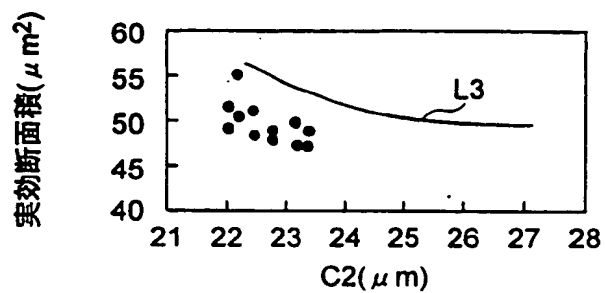


図15B

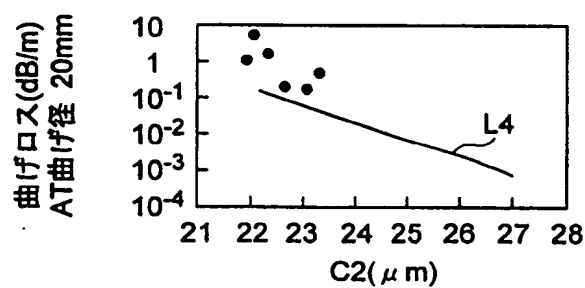


図15C

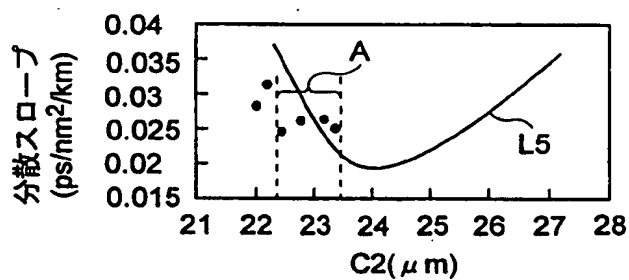


図15D

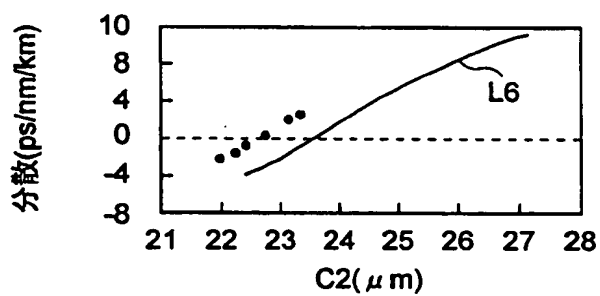


図16A

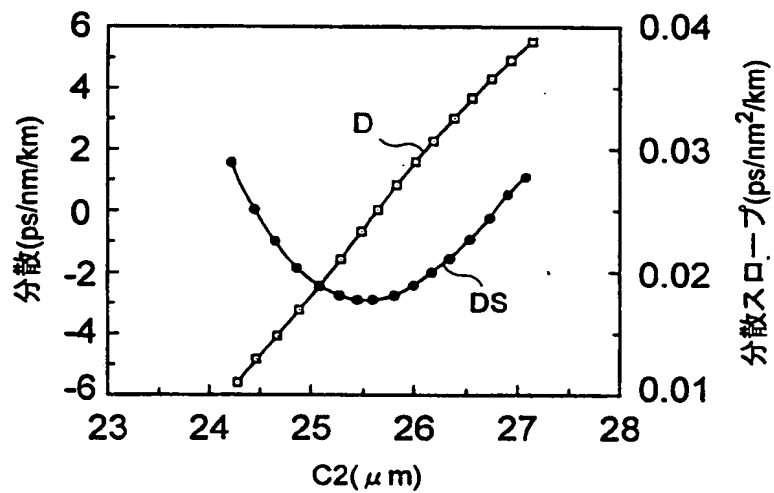


図16B

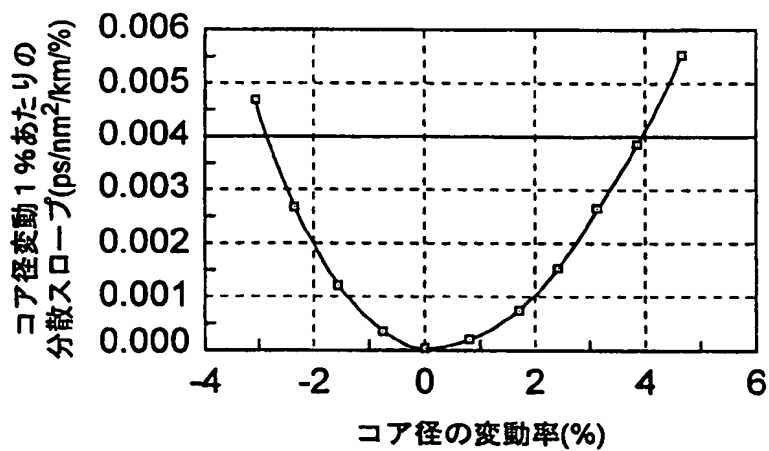


図17A

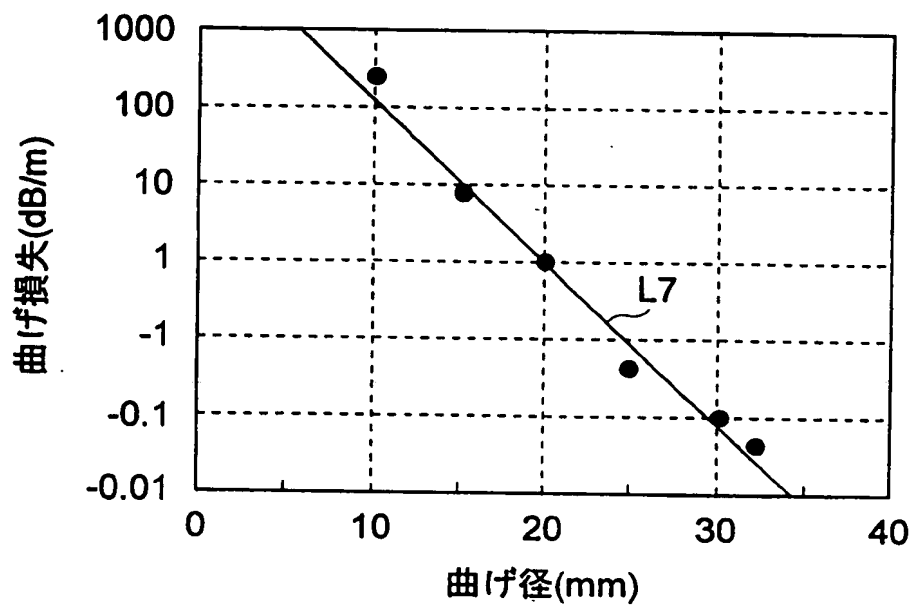


図17B

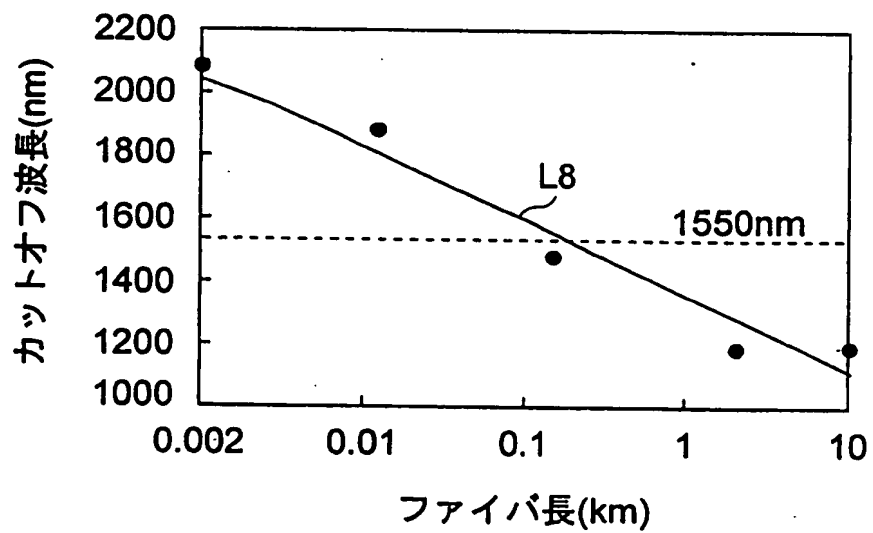


図18A

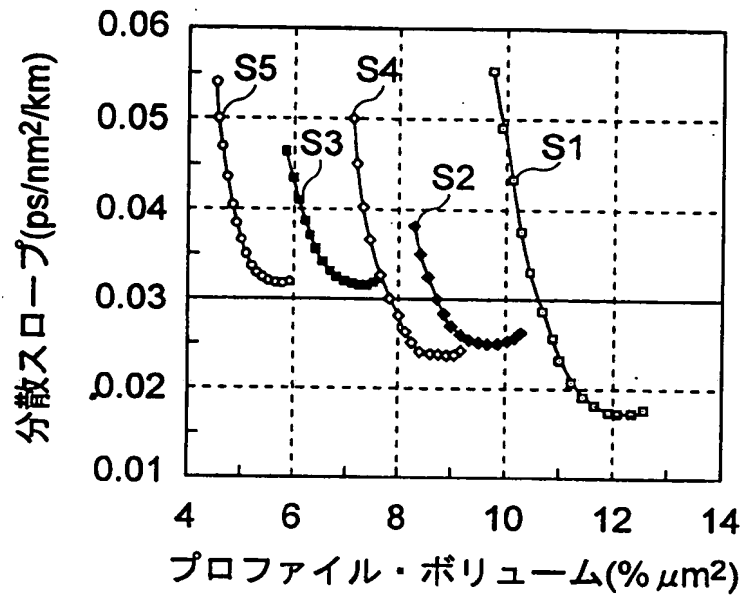
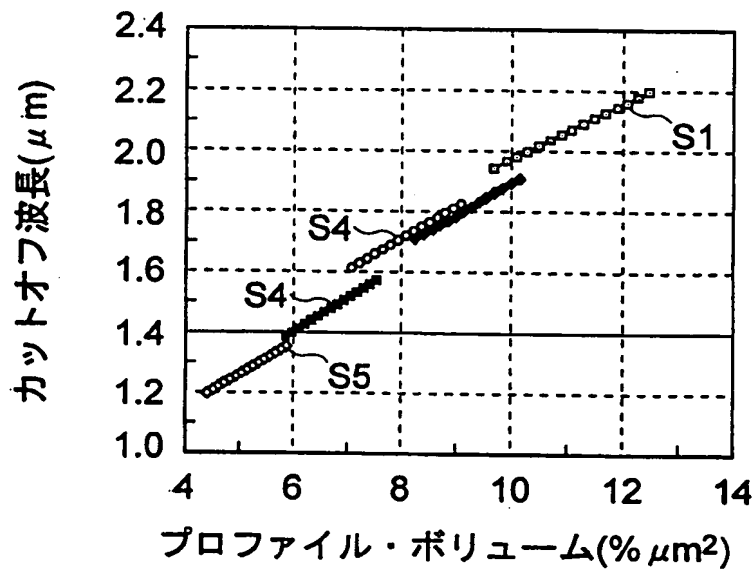


図18B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03383

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ G02B6/16, 6/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ G02B6/16, 6/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 8-234036, A (Corning Inc.), 13 September, 1996 (13. 09. 96) & AU, 4054395, A1 & EP, 721119, A1 & US, 5553185, A	1-20
A	JP, 9-33744, A (Alcatel Submarcom), 7 February, 1997 (07. 02. 97) & EP, 753771, A2 & FR, 2736440, B1 & US, 5675690, A	1-20
A	JP, 9-159856, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 20 June, 1997 (20. 06. 97) (Family: none)	1-20
E	JP, 10-246830, A (Fujikura Ltd.), 14 September, 1998 (14. 09. 98) (Family: none)	1-20
E	JP, 10-293225, A (Fujikura Ltd.), 4 November, 1998 (04. 11. 98) (Family: none)	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
12 November, 1998 (12. 11. 98)Date of mailing of the international search report
24 November, 1998 (24. 11. 98)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. G02B6/16, 6/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. G02B6/16, 6/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1998年
日本国公開実用新案公報 1971-1998年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 8-234036, A (コーニング インコーポレイテッド), 13. 9月. 1996 (13. 09. 96) & AU, 405 4395, A1 & EP, 721119, A1 & US, 5553185, A	1-20
A	JP, 9-33744, A (アルカテル・シユプマルコム), 7. 2月. 1997 (07. 02. 97) & EP, 753771, A2 & FR, 2736440, B1 & US, 5675690, A	1-20
A	JP, 9-159856, A (住友電気工業株式会社), 20. 6月. 1997 (20. 06. 97) (ファミリーなし)	1-20
E	JP, 10-246830, A (株式会社フジクラ), 14. 9月. 1998 (14. 09. 98) (ファミリーなし)	1-20
E	JP, 10-293225, A (株式会社フジクラ), 4. 11	1-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12. 11. 98

国際調査報告の発送日

24.11.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

橋場 健治

印

2K

7036

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (1992年7月)